

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Tomas RATKEVIČIUS

VALSTYBINĖS REIKŠMĖS AUTOMOBILIŲ KELIŲ PRIEŽIŪROS ŽIEMĄ OPTIMIZAVIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2016

Disertacija rengta 2012–2016 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

prof. dr. Alfredas LAURINAVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Nariai:

doc. dr. Artūras KERŠYS (Kauno technologijos universitetas, transporto inžinerija – 03T),

prof. habil. dr. Henrikas SIVILEVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, transporto inžinerija – 03T),

prof. dr. Juris SMIRNOVS (Rygos technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T),

doc. dr. Virgaudas PUODŽIUKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2017 m. sausio 19 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2016 m. gruodžio 16 d.

Disertaciją galima peržiūrėti VGTU talpykloje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2400-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-991-2

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2016

© Tomas Ratkevičius, 2016

tomas.ratkevicius@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Tomas RATKEVIČIUS

OPTIMIZATION OF ROAD OF NATIONAL SIGNIFICANCE MAINTENANCE IN WINTER

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2016

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2012–2016.

Supervisor

Prof. Dr Alfredas LAURINAVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The Dissertation Defence Council of Scientific Field of Civil Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof. Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

Members:

Assoc. Prof. Dr Artūras KERŠYS (Kaunas University of Technology, Transport Engineering – 03T),

Prof. Dr Habil. Henrikas SIVILEVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering – 03T),

Prof. Dr Juris SMIRNOVS (Riga Technical University, Civil Engineering – 02T),

Assoc. Prof. Dr Virgaudas PUODŽIUKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – 02T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a. m. on 19 January 2017**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 16 December 2016.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at VGTU repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama užsienio šalyse ir Lietuvoje atliekama kelių priežiūra žiemą, įvertinama su kokiomis problemomis susiduriama. Disertacijoje taip pat nagrinėjamos kelių oro sąlygų informacinės sistemos, naudojamos kelių priežiūroje žiemą, vertinamos naudojamos technologijos ir medžiagos keliams barstyti. Taip pat pateikiama užsienio šalių geroji patirtis – strategijos, taikomi priežiūros lygiai, naujausios technologijos optimizuojant kelių priežiūrą žiemą bei jos pritaikymo Lietuvoje galimybės.

Darbe išspręsti pagrindiniai uždaviniai: atlikta užsienio šalių ir Lietuvos mokslo darbų susijusių su automobilių kelių priežiūros žiema analizė. Atlikta Lietuvos klimatinio sąlygų analizė ir nustatyta jos įtaka transporto priemonių eismui žiemą. Išnagrinėtos užsienyje ir Lietuvoje naudojamos technologijos ir atlikti tradicinių chloridų druskų bei alternatyvių joms medžiagų efektyvumo tyrimai. Įvertinus Lietuvos ir užsienio šalių gerąją patirtį, sudarytas modelis automobilių kelių priežiūros žiemą taikomiems lygiams vertinti ir pasiūlyta ekonomiškai pagrįsta priežiūros žiemą strategija Lietuvos valstybinės reikšmės keliams.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir penki priedai.

Įvadiniamame skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmasis skyrius skirtas literatūros analizei. Jame nagrinėjami mokslo darbai skirti kelių priežiūros žiemą kokybei gerinti. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikiami atlikti eksperimentinių ir statistinių tyrimų rezultatai. Nustatomos efektyviausios medžiagos Lietuvos klimatinėms eisimo sąlygoms.

Trečiajame ir ketvirtajame skyriuose pateiktas teorinis kelių priežiūros žiemą vertinimo modelis ir aprašomi modelio teoriniai įverčiai. Pasiūlyta metodika Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose taikomų priežiūros lygių įvertinimui ir pateiktos rekomendacijos ekonomiškai pagrįstos priežiūros žiemą strategijos parengimui.

Disertacijos tema paskelbti septyni straipsniai: du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI Web of Science* sąrašą, du – konferencijų medžiagose, referuotose *Thomson ISI* duomenų bazėje, du – recenzuojamose tarptautinių konferencijų medžiagose, vienas – kitame recenzuojamame leidinyje. Disertacijos tema perskaityti keturi pranešimai Lietuvos bei kitų šalių konferencijose.

Abstract

The dissertation examines the foreign countries and Lithuania roads maintenance in winter: what are the problems, how they are solved, how useful is road weather information system for road maintenance during the winter, what techniques and materials are used for salting. Foreign best practices are also provided – strategies, applicable maintenance levels, the latest technology to optimize road maintenance in winter, and its possibilities in Lithuania.

Following main tasks are solved in this thesis: analysis of foreign and Lithuanian scientific papers related to winter road maintenance. Also Lithuanian climatic conditions and its impact on vehicle traffic in winter analysis is made. Lithuanian and foreign technologies are discussed, also traditional and alternative materials efficiency research are made. After evaluation of the best practices of foreign countries, certain methodology to evaluate winter maintenance levels was created, and cost-based winter maintenance strategy for Lithuania state roads was proposed.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, references and author publications on the dissertation topic and 5 annexes.

The introduction reveals the investigated problem, its importance, describing the object of research aim and objectives, and research methodology, scientific novelty, the practical significance of the results, defended statements. The introduction ends in presenting the author's publications on the subject of the defended dissertation, offering the material of made presentations in conferences and defining the structure of the dissertation.

Chapter 1 revises used literature. It includes scientific papers of road maintenance in winter to improve the quality analysis results. At the end of the chapter, conclusions are drawn and the tasks for the dissertation are specified.

In Chapter 2 the experimental and statistical studies are made. The most effective materials for Lithuanian climatic and road conditions are set.

In Chapters 3 and 4 the theoretical winter road maintenance evaluation model is proposed, and theoretical model estimates are described. Methodology for Lithuanian national significance roads supervision levels evaluation is proposed. Also recommendations based on cost-winter maintenance strategy improvement are prepared.

7 articles focusing on the subject of the discussed dissertation are published: two – in periodical scientific journals, included into the list of Thomson ISI Web of Science; other two – in conference materials, refereed by Thomson ISI database; two – in reviewed international conference material; and one – reviewed in other publications. 4 presentations on the subject have been given in conferences at national and international level.

Sąvokos

Kelio naudotojas – asmuo, kuris tiesiogiai ar netiesiogiai naudojasi keliais ir jų infrastruktūra.

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos.

Kelių priežiūra – nepertraukiami kelio elementų priežiūros darbai, užtikrinantys saugų eismą, reikiamą kelio elementų tarnavimo laiką. Priežiūrai priskiriami kelio elementų mažos apimties taisymo darbai bei nuolatinė priežiūra vasarą ir žiemą.

Valstybinės reikšmės keliai – keliai, kuriais vyksta tarptautinis, tranzitinis, turistinis ir vietinis intensyvaus transporto priemonių eismas. Valstybinės reikšmės keliai skirstomi į magistralinius, krašto ir rajoninius kelius. Tai valstybei priklausantys keliai, kuriuose Susisiekimo ministerija ir (ar) jos įgaliota institucija vykdo priežiūros ir plėtros politiką, ir kurių programas ji rengia.

Magistraliniai keliai – tai pagrindiniai Lietuvos keliai, kuriais vyksta intensyviausias transporto priemonių eismas. Jiems priskiriami ir visi į Europos tarptautinių kelių tinklą įjungiami valstybinės reikšmės keliai.

Krašto keliai – keliai, kurie sudaro pagrindinio kelių tinklo dalį. Tai keliai, kuriais vyksta intensyvus transporto priemonių eismas tarp Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų centrų, taip pat tranzitinio ir turistinio transporto priemonių eismas.

Rajoniniai keliai – keliai, naudojami Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų teritorijose esančių juridinių ar fizinių asmenų susisiekimo reikmėms ir jungiantys miestų ir kaimų gyvenamąsias vietas su pagrindinių kelių tinklu.

Įskaitinis eismo įvykis – įvykis kelyje, viešose arba privačiose teritorijose, kurio metu, judant transporto priemonei, žuvo ar buvo sužeista žmonių, sugadinta ar apgadinta bent viena transporto priemonė, kroviny, kelias, jo statiniai ar bet koks kitas įvykio vietoje buvęs turtas.

Judumas – sklendaus eismo dalyvių judėjimo užtikrinimas.

Patikima kelionė – kelių naudotojams kelyje neturi kilti nenumatytų situacijų, bet koks galimas netikėtumas kelyje turi būti numatytas ir pašalintas, aiški kelionė be nenumatytų situacijų, o joms įvykus – operatyvus jų šalinimas.

Prieinamumas – užtikrintas, socialiai orientuotas visų visuomenės narių susisiektis kelių infrastruktūra, atsižvelgiant į poreikį ir ekonominę naudą.

Protinga kelionė – operatyvi ir laiku kelių naudotojams suteikiama informacija, naudojant pažangias technologijas, apie kelio būklę, galimas kliūtis, įvykusius nelaimingus atsitikimus.

Švari kelionė – išlaikomos sąlygos, kad kelių transporto infrastruktūra statybos ir naudojimo metu nedarytų reikšmingo neigiamo poveikio aplinkai ir visuomenės sveikatai.

Avaringumo koeficientas – įskaitinių eismo įvykių skaičius, tenkantis 1 milijonui automobilių, pravažiuojančių 1 kilometro ilgio kelio ruožu per 1 metus.

Eismo įvykių tankis – vienas pagrindinių avaringumo rodiklių, kuris parodo eismo įvykių skaičių, tenkantį vieno kilometro kelio ruožui per metus

Eutektinė temperatūra – žemiausia tirpalo stingimo temperatūra, kurią galima pasiekti su esamos medžiagos sočiuoju tirpalu.

Hidroskopiškumas – medžiagos gebėjimas absorbcijos arba adsorbcijos būdu iš aplinkos pritraukti vandens molekules.

Koncentracija – tirpinamos medžiagos kiekis tam tikrame tirpale arba tirpiklio kiekyje.

Inhibitoriai – medžiagos, kurių nedideli kiekiai daugiau ar mažiau sulėtina cheminius procesus.

Optimizuoti – rasti optimalų (geriausią) iš esamų variantų, galimybių.

Optimalus – geriausias, tinkamiausias, palankiausias.

Modelis – originalo atvaizdas, tapatus pasirinktu struktūros lygmeniu arba pasirinktomis funkcijomis; matematikoje – struktūra, atitinkanti modeliuojamąjį realų objektą arba procesą.

Šaltasis metų laikas – laikotarpis nuo spalio 15 d. iki balandžio 15 d. imtinai.

Šiltasis metų laikas – laikotarpis nuo balandžio 16 d. iki spalio 14 d. imtinai.

Transporto priemonė – įrenginys žmonėms ir (arba) kroviniams vežti, įskaitant traktorius, savaeigės mašinas ir mechanizmus.

Eismo įvykyje sužeistas žmogus – asmuo, eismo įvykyje patyręs kūno sužalojimus, kuriuos nustatė sveikatos priežiūros įstaiga, į kurią pristatytas (kreipėsi) nukentėjęsysis, arba teismo ekspertas (nelaikomas sužeistu eismo įvykyje žmogus, atsisakęs ir nesikreipęs dėl medicininės apžiūros ar ekspertizės).

Eismo įvykyje žuvęs žmogus – asmuo, miręs nuo eismo įvykyje patirtų kūno sužalojimų vietoje arba per 30 (trisdešimt) parų po įvykio.

Žymėjimai

Santrumpos

KDPŽ – valstybinės reikšmės automobilių kelių važiuojamosios dangos priežiūra žiemą;

SMM – slidumą kelyje mažinančios cheminės medžiagos, naudojamos automobilių kelių priežiūroje žiemą;

TP – transporto priemonė;

BVP – bendras vidaus produktas;

ES – Europos Sąjunga;

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos;

KOS – automatinės kelių oro sąlygų stotelės;

GPS – globali pozicionavimo sistema;

GSM – globalus mobilių telefonų ryšio standartas;

ITS – intelektinės transporto sistemos;

KPPP – Kelių priežiūros ir plėtros programa;

EIS – kelių eismo informacinė sistema;

LAKD – Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos;

TEN – Transeuropinis kelių tinklas;

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

DB – duomenų bazė;

EĮ – įskaitinis eismo įvykis;

aut./parą – automobilių per parą;

EĮ/mlrd. aut. km – įskaitinių eismo įvykių skaičius tenkantis 1 milijardui automobilių, pravažiuojančių 1 kilometro ilgio kelio ruožu šaltuoju metų laiku;

MgCl₂ – magnio chloridas;

NaCl – natrio chloridas;

CaCl₂ – kalcio chloridas;

NCCM – natrio ir kalcio modifikuotų chloridų mišinys 75 % NaCl + 25 % CaCl₂ „Ice-melt“;

NANF – natrio acetato ir natrio formiato mišinys „Nordway“.

Turinys

IVADAS.....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas	2
Tyrimų objektas	3
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai.....	3
Tyrimų metodika	4
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė.....	4
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas	5
Disertacijos struktūra	6
Padėka.....	6
1. MOKSLO DARBŲ KELIŲ PRIEŽIŪROS ŽIEMĄ KOKYBEI GERINTI ANALIZĖ.....	7
1.1. Kelių priežiūros žiemą svarba šalies ekonominiam bei socialiniam gyvybingumui.....	8
1.2. Lietuvos klimatinė sąlygų ir jų specifikos analizė	17
1.3. Kelių priežiūros žiemą įtaka eismo saugumui analizė	23
1.4. Kelių priežiūros žiemą įtaka kelių transporto priemonių važiavimo greičiui ir kelionės trukmei	27

1.5. Teisės aktų, reglamentuojančių kelių priežiūrą žiemą, apžvalga.....	30
1.6. Kelių priežiūros žiemą infrastruktūra, naudojamos medžiagos ir technologijos	32
1.7. Kelių priežiūros kokybės gerinimo būdai ir priemonės	42
1.8. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	47
 2. KELIŲ PRIEŽIŪROS ŽIEMĄ EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR REZULTATŲ ANALIZĖ	49
2.1. Kelių priežiūros žiemą medžiagų efektyvumo tyrimai laboratorijoje ir bandomuosiuose kelių ruožuose	50
2.2. Eksperimentinio tyrimo planas	51
2.3. Kelių priežiūros žiemą naudojamų cheminių medžiagų efektyvumo tyrimai laboratorijoje	54
2.3.1. Eksperimentinių tyrimų laboratorijoje metodika	54
2.3.2. Eksperimentinių tyrimų laboratorijoje rezultatai	56
2.4. Kelių priežiūros žiemą naudojamų cheminių medžiagų efektyvumo tyrimai bandomuosiuose kelių ruožuose	62
2.4.1. Eksperimentinių tyrimų bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose metodika.....	62
2.4.2. Eksperimentinių tyrimų bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose rezultatai.....	65
2.5. Antrojo skyriaus išvados.....	68
 3. AUTOMOBILIŲ KELIŲ PRIEŽIŪROS ŽIEMĄ LYGIŲ TEORINIS VERTINIMO MODELIS.....	69
3.1. Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo teorinis modelis.....	69
3.2. Valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo suskirstymas į grupes pagal funkcinę paskirtį	72
3.3. Automobilių kelių priežiūros žiemą kokybės (priežiūros lygių) vertinimo modelio teoriniai įverčiai	74
3.3.1. Saugaus eismo vertinimas	74
3.3.2. Kelionės laiko ir važiavimo kokybės vertinimas	81
3.3.3. Transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų vertinimas.....	86
3.3.4. Aplinkosauginis vertinimas	88
3.4. Trečiojo skyriaus išvados	91
 4. PRIEŽIŪROS ŽIEMĄ OPTIMIZAVIMO GALIMYBĖS LIETUVOS VALSTYBINĖS REIKŠMĖS AUTOMOBILIŲ KELIUOSE	93
4.1. Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelio tikslinimas pagal eksperimento rezultatus.....	94
4.1.1. Valstybinės reikšmės kelių priežiūros žiemą kaštai	95
4.1.2. Eismo intensyvumas ir rida žiemos sezono metu.....	96
4.1.3. Avaringumas žiemos sezono metu.....	97
4.1.4. Automobilių srauto greitis ir kelionės trukmė žiemos sezono metu.....	101
4.1.5. Transporto priemonių eksploatacinės sąnaudos žiemos sezono metu	103

4.2. Sudaryto modelio taikymas skirtingiems kelių priežiūros žiemą scenarijams ir ekonominis vertinimas	104
4.3. Ketvirtąjo skyriaus išvados	106
BENDROSIOS IŠVADOS	109
REKOMENDACIJOS	111
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	113
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	125
SUMMARY IN ENGLISH	127
PRIEDAI ¹	143
A priedas. Eksperimentinių tyrimų laboratorijoje rezultatai	144
B priedas. Eksperimentinių tyrimų bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose rezultatai	157
C priedas. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių skirstymas pagal funkcinę paskirtį	171
D priedas. Bendra autorių sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje	173
E priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos	174

¹ Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.

Contents

INTRODUCTION.....	1
Problem formulation	1
Revelance of the thesis.....	2
The object of research	3
The aim of the thesis	3
The tasks of the thesis	3
The research methodology	4
Scientific novelty of the thesis.....	4
Practical value of the research findings.....	4
Defended statements	5
Approval of the research findings.....	5
The structure of the dissertation.....	6
Acknowledgements.....	6
1. THE ANALYSIS OF SCIENTIFIC THESES ON WINTER ROAD MAINTNANCE QUALITY IMPROVEMENT	7
1.1. The importance of the winter road maintenance for the country's economic and social viability	8
1.2. The analysis of climate conditions in Lithuania and their specific features	17
1.3. The analysis of impact of winter road maintenance on road safety	23
1.4. The impact of winter road maintenance on vehicle driving speed and travel time	27

1.5. The review of legislation governing the winter road maintenance	30
1.6. Winter road maintenance infrastructure, materials and technologies used	32
1.7. Road maintenance quality improvement ways and means.....	42
1.8. Conclusions of the first chapter, formulation of thesis tasks.....	47
 2. WINTER ROAD MAINTENANCE EXPERIMENTAL RESEARCH AND RESULTS' ANALYSIS	49
2.1. Winter road maintenance materials' effectiveness research in laboratory and on trial road sections.....	50
2.2. Experimental research plan.....	51
2.3. Laboratory-based effectiveness research for winter road maintenance chemical materials	54
2.3.1. Laboratory-based experimental research methodology	54
2.3.2. Laboratory-based experimental research results	56
2.4. Effectiveness research for winter road maintenance chemical materials on trial road sections	62
2.4.1. Experimental research on trial road sections methodology	62
2.4.2. Experimental research on trial road sections results	65
2.5. Research results' summary and conclusions of the second chapter	67
 3. THE THEORETICAL MODEL OF ASSESSMENT OF WINTER ROAD MAINTENANCE LEVELS	69
3.1. The theoretical model of assessment of winter road maintenance levels	69
3.2. National road network breakdown into categories according to the functional purpose	72
3.3. The theoretical model of assessment of winter road maintenance levels.....	74
3.3.1. The assessment of road safety	74
3.3.2. The assessment of travel time and driving quality	81
3.3.3. The assessment of vehicle operational expenses.....	86
3.3.4. The assessment of the environment	88
3.4. The conclusions of the third chapter.....	91
 4. WINTER MAINTENANCE OPTIMIZATION POSSIBILITIES ON LITHUANIAN NATIONAL ROADS	93
4.1. The winter road maintenance level assessment model adjustment based on experiment results.....	94
4.1.1. The costs of national road maintenance in the winter time.....	95
4.1.2. Traffic intensity and amount of km covered by vehicles in the winter season	96
4.1.3. The accident rate in the winter season.....	97
4.1.4. Vehicle flow speed and travel time in the winter season.....	101
4.1.5. The vehicle operational expenses in the winter season	103
4.2. The application of the compiled model to different winter road maintenance scenarios and its economic assessment	104
4.3. The conclusions of the fourth chapter.....	106

GENERAL CONCLUSIONS	119
RECOMMENDATIONS.....	111
REFERENCES	113
THE LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISERTATION	125
SUMMARY IN ENGLISH.....	127
ANNEXES ¹	143
Annex A. Laboratory-based experimental research results	144
Annex B. Results of experimental research on trial road sections	157
Annex C. Road network breakdown into categories according to the functional purpose.....	171
Annex D. Agreements of co-authors to provide published statements in the thesis	173
Annex E. Author's scientific publications on the topic of the thesis	174

¹ The annexes are supplied in the enclosed compact disk.

Įvadas

Problemos formulavimas

Šiuo metu tiek Lietuvoje, tiek užsienio šalyse kelių transporto sektorius susiduria su sudėtinga situacija, kuomet kelių priežiūros ir remonto biudžetai kasmet yra didinami nepakankamai (ar bent jau nedidinami, nors turto išlaikymo kaštai vis didėja), tačiau tuo pačiu reikalaujama išlaikyti ne prastesnę nei esamą kelių būklę, o tam tikrais atvejais ją net ir pagerinti. Tokios tendencijos verčia apžvelgti visus praktikoje žinomus būdus ir ieškoti naujų kelių infrastruktūros valdymo ir priežiūros efektyvinimo būdų, (įskaitant modernią kelio parametrų monitoringui atlikti technologinę įrangą ir naudojamas medžiagas). Rinkoje nuolatos pasirodo įvairios automobilių keliams barstyti skirtos medžiagos, deklaruojančios didesnę efektyvumą ir mažesnę neigiamą poveikį aplinkai. Tačiau jų kaina lyginant su tradicinėmis chloridų druskomis keliolika kartų didesnė, bei jų deklaruojamas efektyvumas ne visuomet pasitvirtina praktikoje. Todėl būtina atlikti eksperimentinius tyrimus įvertinančius alternatyvių medžiagų efektyvumą ir palyginti su šiuo metu naudojamomis medžiagomis bei parengti rekomendacijas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose medžiagų taikymui.

Priežiūros lygis yra tiesioginis automobilių kelių eksploatacijos ir priežiūros paslaugos teikiamos kelių vartotojams įvertinimas, nuo kurios tiesiogiai priklauso

kelio priežiūros ir kelio naudotojų išlaidos – kuo geresnė kelių priežiūra, tuo mažesnės kelio naudotojų išlaidos ir atvirkščiai.

Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros lygiai žiemą parinkami neįvertinant visų visuomenės poreikį lemiančių veiksnių. Dabartinis priežiūros lygių žiemą parinkimas atsižvelgiant tik į kelio kategoriją ir eismo intensyvumą neužtikrina pažangiausių pasaulio valstybių eismo saugumo rodiklių ir kelio funkcinės paskirties.

Didžiausia dalis kelių priežiūros lėšų skiriama žiemos priežiūrai todėl labai svarbu paskirstyti jas kaip įmanoma racionaliau. Siekiant optimaliai parinkti kelių priežiūros lygius žiemą būtina remiantis ne vien struktūriniais ir ekonominiais, bet taip pat ir aplinkosauginiais bei socialiniais naudos ir kaštų skaičiavimais.

Disertacijoje numatoma atlikti slidumą kelyje mažinančių cheminių medžiagų (SMM) eksperimentinius efektyvumo tyrimus, nustatant tinkamiausias SMM Lietuvos klimatinėms ir eismo sąlygoms. Taip pat numatyta sukurti metodiką leidžiančią įvertinti kelių priežiūros lygius žiemą socialiniais ir ekonominiais aspektais, bei galutiniame rezultate parinkti optimalius lygius labiausiai atitinkančius kelio naudotojų ir visuomenės poreikius.

Darbo aktualumas

Keliai – tai didelės reikšmės nacionalinis turtas. Išvystyta kelių infrastruktūra – tai pagrindas nacionalinei ekonomikai ir socialinei gerovei augti. Kokybiška valstybinės reikšmės kelių tinklo priežiūra didina judumą ir gerina eismo saugą, užtikrina kelių tinklo prieinamumą gyventojams, bei užtikrina patikimą, protingą bei švarią kelių valstybinės reikšmės kelių tinklo naudotojams.

Efektyvi kelių transporto sistema skatina ekonomikos augimą, tačiau neišvengiamai veikia aplinką tiek statybos ir modernizavimo, tiek kelių priežiūros metu. Ribotas kelių ūkio finansavimas verčia ekonomiškai planuoti kelių tinklo priežiūrą, teisingai nustatyti veiklos prioritetus, kad tai duotų didžiausią naudą visuomenei.

Didžiulį ekonominį efektą tokiu atveju duoda automobilių kelių finansavimo ir priežiūros planavimo skaičiavimai, kurie padeda išspręsti tokias problemas:

- kaip organizuoti ir paskirstyti finansavimą kelių priežiūrai;
- kokius kelių priežiūros lygius ir kuriuose keliuose taikyti;
- kokią ekonominę naudą visuomenei duoda kelių priežiūra žiemą;
- kokios lėšos reikalingos dabar ir bus reikalingos ateityje, kad būtų pasiektas ir nuolat palaikomas nusistatytas optimalus kelių tinklo priežiūros lygis žiemą.

Priežiūros lygio taikymas Lietuvoje didžiąja dalimi priklauso nuo finansavimo, skirto kelių priežiūrai. Esant nepakankamai kelių priežiūrai žiemą, iškyla

ne tik eismo įvykių pavojus, bet pasunkėja važiavimo sąlygos, padidėja degalų sąnaudos, automobilių amortizacija, pabrangsta transportavimas. Lietuvoje valstybinės automobilių kelių priežiūroje žiemą reikalinga patikslinti dabartinių priežiūros lygių taikymą, įvertinant daugiametę šalies patirtį, o taip pat įvertinant kelio naudotojo išlaidas. Mažiausių visuomenės išlaidų principas turėtų būti pagrindinis kriterijus nustatant optimalių kelių priežiūros žiemą lygių taikymą.

Pasiūlytas priežiūros žiemą lygių vertinimo modelis padėtų pasiūlyti ekonomiškai pagrįstą priežiūros žiemą strategiją Lietuvos valstybinės reikšmės keliams.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimo objektas – Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliai ir priežiūros žiemą lygiai.

Darbo tikslas

Pasiūlyti automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertimo modelį, kuris padėtų ekonomiškai pagrįsti lėšų poreikį, bei kuriuo naudojantis būtų parenkami optimalūs priežiūros lygiai, įvertinant veiksnius turinčius didžiausią įtaką visuomenės tiesioginėms išlaidoms.

Darbo uždaviniai

Siekiant užsibrėžto tikslo, buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros, susijusios su automobilių kelių priežiūra žiemą analizę.
2. Atlikti Lietuvos klimatinę sąlygų ir jų specifikos analizę.
3. Atlikti kelių priežiūrai žiemą naudojamų slidumą kelyje mažinančių cheminių medžiagų efektyvumo eksperimentinius tyrimus ir taikomų technologijų analizę.
4. Sudaryti optimalių valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygių žiemą vertinimo modelį atskiroms kelių grupėms.
5. Pritaikyti sudarytą priežiūros lygių žiemą vertinimo modelį Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose ir atlikti ekonominį vertinimą.

6. Pasiūlyti Lietuvos valstybinės reikšmės kelių priežiūros žiemą strategiją, optimizuojančią kelių naudotojų ir priežiūros poreikius.

Tyrimų metodika

Darbe taikyti šie tyrimų metodai: mokslinės teorinės analizės, laboratoriniai, natūriniai, statistinės analizės, duomenų lyginimo ir grupavimo.

Naudojant mokslinės teorinės analizės metodą atlikta Lietuvos ir užsienio šalių mokslinių publikacijų, mokslo institucijų mokslinių ir informacinių leidinių analizė.

Naudojant laboratorinius ir natūrinius tyrimo metodus, buvo atlikti slidumą kelyje mažinančių cheminių medžiagų efektyvumo tyrimai, nustatant optimaliausias medžiagas Lietuvos klimatinėms eismo sąlygoms.

Naudojantis statistiniais metodais nustatyta transporto priemonių (TP) važiavimo greičio priklausomybė nuo kelio dangos būklės žiemą, atlikta eismo įvykių analizė, nagrinėjant duomenis įvairias pjūviais.

Naudojant duomenų lyginimo ir grupavimo metodus buvo nustatytos, sudarytam teoriniam automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modeliui, reikalingos įverčių reikšmės.

Darbo mokslinis naujumas

Atlikti automobilių keliams žiemą barstyti skirtų cheminių medžiagų laboratoriniai ir lauko efektyvumo tyrimai leido parinkti Lietuvos klimato bei eismo sąlygoms tinkamiausias schemines medžiagas. Taip pat pasiūlyti tyrimo metodai ateityje leis įvertinti naujų alternatyvių scheminių medžiagų efektyvumą, lyginant su šiuo metu naudojamomis chloridų druskomis.

Lietuvos ir užsienio šalių patirtis leido sudaryti automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelį Lietuvos valstybinės reikšmės keliams, kuris gali būti pritaikomas kitose užsienio šalyse.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Atlikti automobilių keliuose barstomų cheminių medžiagų efektyvumo tyrimai leidžia palyginti naujas, alternatyvias medžiagas su tradicinėmis chloridų druskomis. Atlikti tyrimai leido parinkti šiuo metu efektyviausias medžiagas Lietuvos klimatinėms ir eismo sąlygoms.

Pasiūlytas automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelis gali būti praktiškai pritaikytas Lietuvos valstybinės reikšmės keliams. Tai būtų efektyvus įrankis optimalių priežiūros lygių parinkimui, suteikiant galimybę ekonomiškai pagrįsti kelių priežiūros žiemą strategiją, labiausiai atitinkančią visuomenės poreikius.

Ginamieji teiginiai

1. Transporto srauto važiavimo greitis, kelionės laikas, eksploatacinės išlaidos, poveikis aplinkai ir eismo saugumas priklauso nuo taikomo kelių priežiūros žiemą lygio.
2. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros lygiai žiemą parenkami neįvertinant visų visuomenės poreikį lemiančių veiksnių. Dabartinis priežiūros žiemą lygių parinkimas, atsižvelgiant tik į kelio kategoriją ir eismo intensyvumą, neužtikrina pažangiausių pasaulio valstybių eismo saugumo rodiklių ir kelio funkcinės paskirties.
3. Siekiant optimaliai taikyti kelių priežiūros žiemą lygius būtina įvertinti šalies klimato specifiką, eismo įvykius (įvykusius šaltuoju metu laiku), kelio dangos ir važiavimo sąlygas, naudojamas medžiagas, priežiūros lygių kaštus.
4. Tradicinių chloridų druskų naudojimas kelių priežiūroje žiemą efektyviausiai užtikrina aukščiausius Lietuvos valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygių reikalavimus.
5. Lietuvoje valstybinės automobilių kelių priežiūroje žiemą reikalinga patikslinti dabartinių priežiūros lygių parinkimo metodiką, įvertinant daugiametę šalies patirtį, o taip pat įvertinant kelio naudotojo išlaidas.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbti septyni moksliniai straipsniai: du moksliniai straipsniai mokslo žurnaluose, įrašytuose į *Thomson ISI Web of Science* duomenų bazę ir turinčiuose citavimo indeksą (Vaitkus *et al.* 2012; Laurinavičius *et al.* 2016); du – konferencijų medžiagose, referuotose Thomson ISI duomenų bazėje (Ratkevičius *et al.* 2013a; Ratkevičius *et al.* 2014); du – recenzuojamose tarptautinių konferencijų medžiagose (Laurinavičius *et al.* 2014; Ratkevičius *et al.* 2015); vienas – kituose recenzuojamose leidiniuose (Ratkevičius *et al.* 2013b).

Disertacijos tema skaityti pranešimai keturiuose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje:

- 11-oje tarptautinėje konferencijoje „Modern Building Materials, Structures and Techniques“ 2013 m. Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje „XXVIII International Baltic Road Conference“ 2013 m., Vilniuje;
- Tarptautiniame kongrese „XIVth International Winter Road Congress“ 2014 m. Andoroje;
- 9-oje tarptautinėje konferencijoje „Environmental Engineering“ 2014 m. Vilniuje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir bendrosios išvados. Taip pat yra penki priedai.

Darbo apimtis yra 143 puslapiai, neskaitant priedų, tekste panaudotos 10 numeruotų formulių, 31 paveikslas ir 31 lentelė. Rašant disertaciją buvo panaudoti 132 literatūros šaltiniai.

Padėka

Autorius norėtų nuoširdžiai padėkoti visiems prisidėjusiems prie šio disertacinio darbo rengimo. Darbo vadovui prof. dr. Alfredui Laurinavičiui už kantrybę ir atkaklų vadovavimą. Taip pat Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos darbuotojams už geranorišką pagalbą suteikiant darbui reikalingus duomenis. VĮ „Problematika“ darbuotojams padėjusiems atlikti cheminių medžiagų eksperimentinius tyrimus. Darbo autorius dėkoja VĮ Kelių ir transporto tyrimo instituto specialistams už suteiktus duomenis bei pagalbą. Dėkingas mokslininkams recenzavusiems disertacinį darbą už jų taiklias pastabas, kantrybę ir supratingumą.

Ypatingą padėką autorius išreiškia savo artimiesiems žmonėms mamai Birutei už įkvepiantį optimizmą ir nuolatinį palaikymą, žmonai Aušrai už supratingumą, meilę ir moralinį palaikymą, tetai Dalei už neįkainojamą pagalbą kritiniais momentais, ir savo seseriai Kornelijai už pagalbą ir konsultacijas rengiant disertaciją. Visam VGTU Kelių tyrimo instituto, Kelių katedros kolektyvui ir Aplinkos fakulteto dekanui prof. Donatui Čygui už patarimus ir visokeriopą pagalbą sudėtingomis akimirkomis. Taip pat didelis ačiū visiems draugams bei bendramoksliams už palaikymą ir pritarimą.

Mokslo darbų kelių priežiūros žiemą kokybei gerinti analizė

Šiame skyriuje nagrinėjami Lietuvos ir užsienio šalių moksliniai literatūros šaltiniai ir darbai, susiję su valstybinės reikšmės automobilių kelių važiuojamosios dangos priežiūros žiemą (KDPŽ) tema.

Pabrėžiama KDPŽ svarba šalies ekonominiam bei socialiniam gyvybingumui. Analizuojami KDPŽ kokybės vertinimo metodai, siekiant susieti taikomus priežiūros lygius su socialiniais ir ekonominiais aspektais.

Pabrėžiama, kokią didelę įtaką KDPŽ turi kelio naudotojų išlaidoms (eismo įvykių, TP eksploatacinėms, kelionės trukmės išlaidoms), o taip pat bendroms visuomenės išlaidoms (KDPŽ ir aplinkosauginėms).

Skyriaus tematika paskelbti straipsniai: Vaitkus *et al.* (2012), Ratkevičius *et al.* (2013a), Ratkevičius *et al.* (2013b), Laurinavičius *et al.* (2014), Ratkevičius *et al.* (2015).

1.1. Kelių priežiūros žiemą svarba šalies ekonominiam bei socialiniam gyvybingumui

Kiekvienais metais tiek Lietuvoje, tiek kitose šalyse susiduriama su žiemos sezono problemomis automobilių keliuose. Keliai reikalauja ypatingos priežiūros žiemos metu, kadangi esant nepakankamai kelių priežiūrai žiemą, iškyla ne tik eismo įvykių pavojus, bet pasunkėja važiavimo sąlygos, labai padidėja degalų sąnaudos, automobilių amortizacija, pabrangsta vežimai. Kai transporto sistemos sutrikimai, dėl nepalankių oro sąlygų žiemą, tampa nuolatiniais (pvz., slidi kelio dangos būklė, sumažėjęs važiavimo greitis, padidėjusi kelionės trukmė, išaugusi eismo įvykių rizika, nuolat didėjantis neigiamas poveikis aplinkai ir pan.), tai sudaro kliūtis racionaliam išteklių panaudojimui, mažina darbo pasidalinimą, neigiamai įtakoja aplinką, mažina žmonių ekonominę gerovę bei gyvenimo kokybę. Trumpuoju periodu (pvz. ekonominiu sunkmečiu) sutaupytos lėšos, vykdant minimalių kaštų kelių priežiūrą ateityje iššaukia didelius ekonominius nuostolius ir ne tik sukuriant didžiulius eismo nepatogumus (kelionės kokybė), tačiau ir ženkliai išauga kelio naudotojų nuostoliai (pailgėja kelionės laikas, padidėja transporto priemonių eksploatavimo išlaidos, suprastėja eismo saugumo situacija ir išauga neigiamas poveikis aplinkai).

Važiuodami automobilių keliais žiemą vairuotojai susiduria su daugybe įvairiausių meteorologinių veiksnių, kurie blogina važiavimo kokybę ir neretai sudaro prielaidas avarinėms situacijoms. Dėl nepastovių (temperatūros, kritulių ir pan.) parametrų ir trukmės, žiema lieka sunkiai nuspėjamu metų laiku. Įvairiose su šia realybe susiduriančiose šalyse nenuspėjamumas turi įtakos eismo dalyviams ir pėstiesiems, bei prekių ir paslaugų srautams. Atšiaurios žiemos sąlygos ir priemonės (kurios dėl jų taikomos), turi įtakos automobilių kelių infrastruktūros objektų eksploatacijos terminams, saugumui ir galimybėms jais naudotis.

Šiomis aplinkybėmis su žiemos sezono sunkumais susiduriantys kelių tinklo valdytojai turi užtikrinti visų eismo dalyvių saugumą, palaikydami tinkamą kelių infrastruktūros būklę ištisus metus, kad užtikrintų ekonominės ir socialinės veiklos palaikymo ir plėtros skatinimą jų aptarnaujamoje teritorijoje. Tam kelių direkcijos turi skirti daug finansinių, materialinių ir žmogiškųjų išteklių, tuo pat metu nuolatos ieškomos būdų kelių priežiūros žiemą praktikai tobulinti.

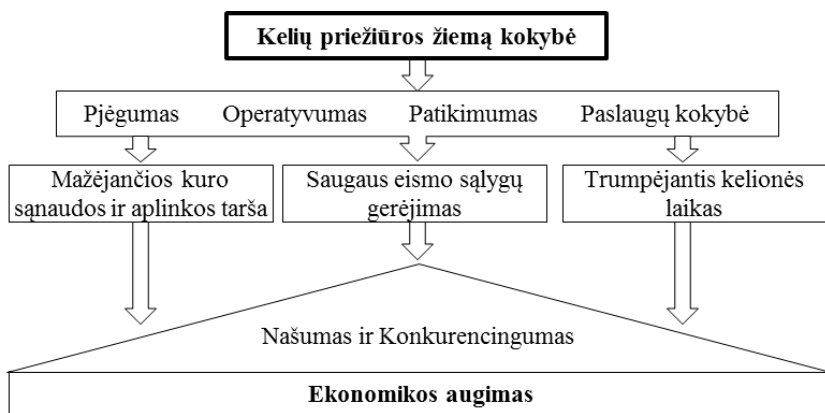
Kokybiška valstybinės reikšmės kelių tinklo priežiūra didina judumą ir gerina eismo saugą, užtikrina kelių tinklo prieinamumą gyventojams, bei užtikrina patikimą, protingą bei švarią kelionę valstybinės reikšmės kelių tinklo naudotojams.

Efektyvi kelių transporto sistema skatina ekonomikos augimą, tačiau neišvengiamai veikia aplinką tiek statybos ir modernizavimo, tiek kelių priežiūros metu.

Ribotas kelių ūkio finansavimas verčia ekonomiškai planuoti kelių tinklo priežiūrą, teisingai nustatyti veiklos prioritetus, kad tai duotų didžiausią naudą visuomenei. Didžiulį ekonominį efektą tokiu atveju duoda automobilių kelių finansavimo ir priežiūros planavimo skaičiavimai, kurie padeda išspręsti tokias problemas:

- kaip organizuoti ir paskirstyti finansavimą kelių priežiūrai;
- kokius kelių priežiūros lygius ir kuriuose keliuose taikyti;
- kokią ekonominę naudą duoda kelių priežiūra žiemą visuomenei;
- kokios lėšos reikalingos dabar ir bus reikalingos ateityje, kad būtų pasiektas ir nuolat palaikomas nusistatytas optimalus kelių tinklo priežiūros lygis žiemą.

Išvystyta kelių infrastruktūra – tai pagrindas nacionalinei ekonomikai ir socialinei gerovei augti. Pasaulio kelių asociacijos (angl. *World Road Association (PIARC)*) skaičiavimais kelių transportas atskirose šalyse sukuria nuo 10 % iki 20 % bendrojo vidaus produkto (BVP) (Blomqvist 2006) (1.1 pav.).



1.1 pav. Kelių priežiūros kokybės įtaka šalies ekonomikai (sudaryta autoriaus)

Fig. 1.1. The impact of road maintenance quality on the country's economy (compiled by the author)

Lietuvoje, pastarųjų metų duomenimis, transporto sektoriuje veikiančios įmonės ir organizacijos sukūrė 11,4 % šalies bendrojo vidaus produkto (Lietuvos... 2014). Transportas yra vienas iš svarbiausių verslo sektorių ir Lietuvos ekonomikoje – pagal pridėtinės vertės kūrimo apimtį šis sektorius lenkia tokius Lietuvai svarbius sektorius kaip žemės ūkis, statyba bei energetika ir nusileidžia tik gamybos, prekybos bei nekilnojamo turto segmentams. Transportas Lietuvai yra ženkliai svarbesnis nei daugeliui kitų Europos Sąjungos (ES) šalių. 2014 metų ES statistikos tarnybos (Eurostat) duomenimis, transporto sektoriaus dalis Lietuvos BVP struktūroje yra beveik 3 kartus didesnė nei ES šalių vidurkis.

Šiuo metu transporto sektoriaus dalis šalies BVP sudaro beveik 13 % ir – didžiausia tikimybė, kad artimiausioje ateityje ji tik didės.

Transporto sektoriuje valstybė valdo 25 įmones, iš jų 11 įmonių yra valstybinės reikšmės kelių priežiūrą vykdančios įmonės. Valstybinės reikšmės keliai – viena didžiausių valstybės valdomo turto grupių, kurios balansinė vertė šiuo metu siekia apie 2 mlrd. Eur, o atkuriamoji vertė yra daugiau nei 17 mlrd. Eur. Efektyvus tokio didelio turto – svarbiausios šalies transporto infrastruktūros – valdymas ir jo priežiūra yra strateginė valstybės užduotis, lemianti viso šalies ūkio funkcionavimą. Besikeičiant šalies ekonominei, teisinei situacijai, intensyvėjant transporto eismui, didėjant visuomenės poreikiams, didėjant aplinkosauginiams reikalavimams ir atitinkamai nedidėjant finansavimui valstybinės reikšmės kelių priežiūros ir valdymo sistema turi užtikrinti dar didesnę nei esama veiklos efektyvumą, dar racionalesnį ir ekonomiškesnį valstybės turto valdymą.

Kelių tinklas ir eismas

Lietuvos automobilių keliai pagal reikšmę skirstomi į valstybinės ir vietinės reikšmės kelius. Valstybinės reikšmės keliai priklauso Lietuvos automobilių kelių direkcijai prie Susisiekimo ministerijos (LAKD), o vietiniai keliai savivaldybėms ir privatiems asmenims. Valstybinės reikšmės kelių tinklą sudaro magistraliniai keliai (1746,18 km, tarp jų 310 km automagistralių), krašto keliai (4929,47 km) ir rajoniniai keliai (14566,55 km) (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Valstybinės reikšmės kelių tinklo struktūra (sudaryta autoriaus, pagal Šaltinį: Lietuvos... 2014)

Table 1.1. The national road network structure (compiled by the author based on the data from Lithuanian Road Administration) (Lietuvos... 2014)

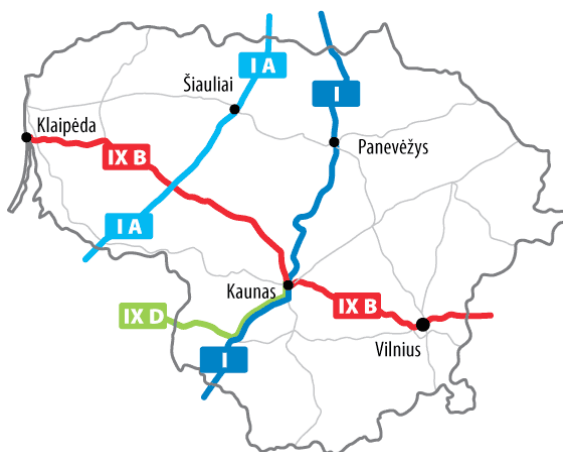
Kelio tipas	Ilgis, km	Procentinė dalis, %	Kelių kiekis
Magistraliniai keliai	1 746,184	8	19
Krašto keliai	4 929,469	23	132
Rajoniniai keliai	14 566,552	69	1632
Iš viso:	21 242,205	100	1783

Lietuva turi gana palankią geografinę padėtį, yra jūrinė valstybė, šalies teritorija išsidėsčiusi ant Rytų – Vakarų (Europos – Azijos) prekybinių kelių. Šalies teritoriją kerta du kontinentinės svarbos koridoriai, kuriuose būtina sudaryti eismo sąlygas, analogiškas kitų Europos šalių keliams. Tai pagrindinė sąlyga norint plėsti tarptautinius tranzitinius vežimus, taigi automobilių kelių tinklo plėtra ir jų priežiūra yra tarp šalies prioritetų.

1994 m. Kretoje surengtoje Europos šalių transporto ministrų konferencijoje buvo nustatyti du Lietuvą kertantys Europiniai transporto koridoriai (angl. *Trans European Network*).

Šiaurės – Pietų kryptimi: I koridorius (greitkelis VIA BALTICA), jungiantis Taliną, Rygą, Saločius, Panevėžį, Kauną, Kalvariją, Varšuvą, ir jo šaka – I A koridorius (Talinas–Ryga–Šiauliai–Tauragė–Kaliningradas).

Rytų–Vakarų kryptimi: IX koridorius, IX B koridoriaus šaka (Kijevas–Minskas–Vilnius–Klaipėda) ir IX D koridorius (Kaunas–Kaliningradas) (1.2 pav.) (Lietuvos... 2014).



1.2 pav. Europiniai transporto koridoriai, kertantys Lietuvos teritoriją (Lietuvos... 2014)

Fig. 1.2. European transport corridors crossing the territory of Lithuania (Lietuvos... 2014)

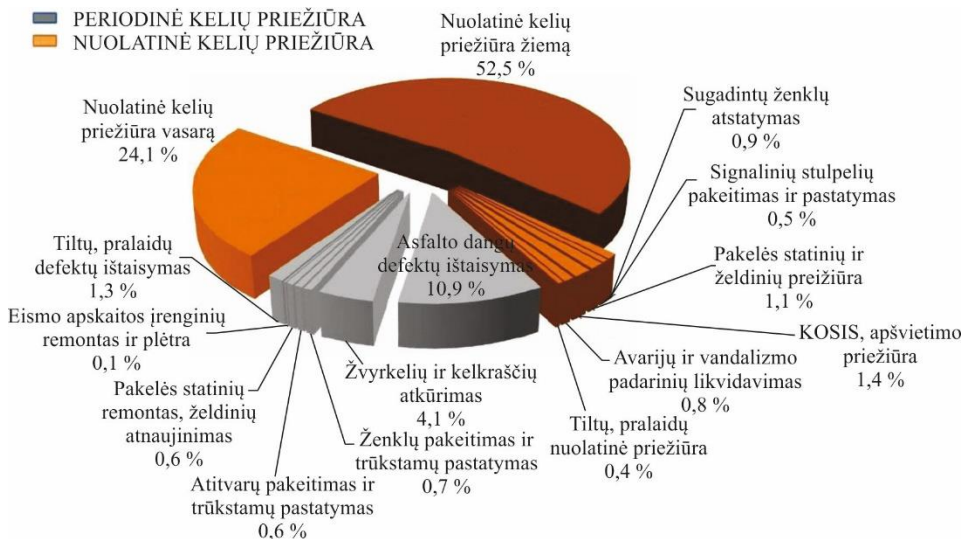
Apie 64 % kelių turi asfalto arba betono dangą. Bendras transporto priemonių skaičius šalyje siekia daugiau kaip 1,48 milijono (pagal 2015 m. sausio 1 d. pateiktus VĮ Regitra duomenis).

Lietuvos valstybinių automobilių kelių priežiūrą atlieka LAKD pavaldžios valstybinės įmonės. O vietinių kelių priežiūra užsiima savivaldybės arba fiziniai ar juridiniai asmenys, kuriems priklauso tam tikri keliai. LAKD yra pavaldžios 11 valstybinių įmonių (VĮ), kurioms priklauso 46 kelių tarnybos. Iš visų įmonių galima būtų išskirti VĮ Automagistralė šį įmonę prižiūri tik A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ir A2 Vilnius – Panevėžys magistralinius kelių.

Valstybinių automobilių kelių priežiūra skirstoma į nuolatinę kelių priežiūrą vasarą ir nuolatinę kelių priežiūrą žiemą. Vasarą nuolatinės kelių priežiūros metu dažniausiai atliekamas pakelių šienavimas, dangos ir sankasos defektų šalinimas,

švarumo užtikrinimas, ženklų statymas, tvarkymas ir pan. O nuolatinės kelių priežiūros žiemos metu pagrindiniai darbai yra kelių dangų valymas nuo sniego ir slidumą kelyje mažinančių medžiagų bastymas.

Nuolatinė kelių priežiūra žiema yra sunkus bei brangus kelių priežiūros etapas. Didžiausia dalis visų kelių priežiūros išlaidų yra skiriama būtent nuolatinėi kelių priežiūrai žiemą daugiau nei puse lėšų (52,5 %) (1.3 pav.).



1.3 pav. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros finansavimo struktūra 2013 metais (Skrodenis, Makarevičius 2013)

Fig. 1.3. Lithuanian national road maintenance financing structure in 2013 (Skrodenis, Makarevičius 2013)

Lietuvoje automobilių kelių priežiūros žiemą lygio pasirinkimas didžiaja dalimi priklauso nuo finansavimo, skirto kelių priežiūrai. Esant nepakankamam finansavimui, vasaros ir žiemos priežiūros lygiai žemėja (1.4 pav.). Esant nepakankamai kelių priežiūrai žiemą, iškyla ne tik eismo įvykių pavojus, bet pasunkėja važiavimo sąlygos, padidėja degalų sąnaudos, automobilių amortizacija, pablogėja transportavimas.

Automobilių kelių priežiūra – paslauga kelių naudotojams, kurią sudaro kelio priežiūros darbai, užtikrinantys reikiamą kelio techninę būklę, saugų eismą bei prailginantys kelio tarnavimo laiką. Šių darbų rezultatas susiveda į važiavimo sąlygas kelyje ir kelio estetinę būklę. Kelių priežiūros sistemos ir ekonominio vertinimo metodikos pagrindinis tikslas yra nustatyti, kokios kokybės turėtų būti ši

paslauga skirtinguose keliuose ir kelių ruožuose, priklausomai nuo kelio reikšmės ir eismo intensyvumo jame.

Kelių priežiūros kokybė tiesiogiai priklauso nuo taikomo priežiūros lygio, todėl galutinis tikslas yra optimalių priežiūros lygių nustatymas.

Pagrindinis regiono kelių įmonių tikslas – pasiekti optimalų valstybinių kelių priežiūros lygį, kuris užtikrintų kelių naudotojų poreikius: saugų, nepertraukiamą, patogų ir ekonomišką eismą bei mažintų neigiamą transporto poveikį aplinkai. Didėjantis automobilių skaičius, augantis intensyvumas, o labiausiai – didėjantys saugaus eismo reikalavimai reikalauja daug didesnių lėšų kelių priežiūrai, tinkamoms eismo sąlygoms užtikrinti.

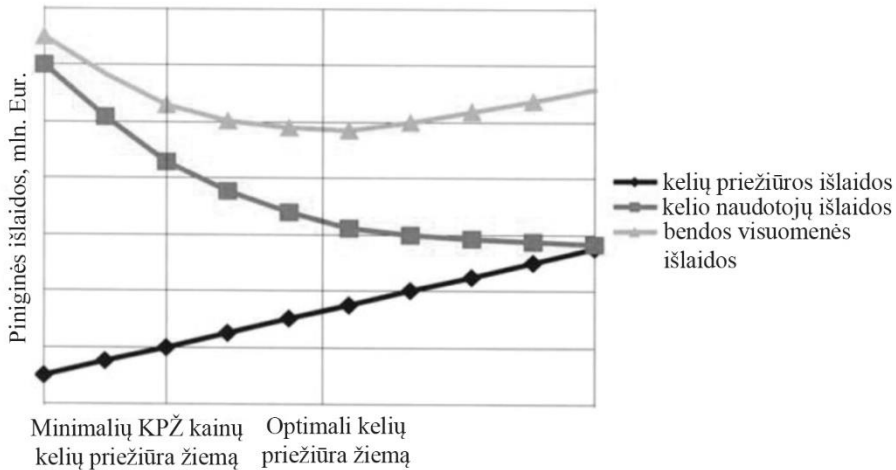


1.4 pav. Barstomų kelių dinamika, priklausomai nuo kelių priežiūros žiemą finansavimo (parengta autoriaus pagal Šaltinį: Lietuvos... 2014)

Fig. 1.4. Sanding/salting dynamics depending on the winter road maintenance financing (compiled by the author according to source: Lietuvos... 2014)

Optimali automobilių kelių priežiūra turi užtikrinti tokią kelio elementų techninę ir estetinę būklę, kuri mažiausiomis kelių eksploatuojančių organizacijų sąnaudomis užtikrintų kelio naudotojų poreikius – saugų, patogų ir ekonomišką važiavimą, bei estetišką kelio aplinką. Kelių priežiūros išlaidas sudaro priežiūros darbų kaina. Kelio naudotojų išlaidas sudaro autotransporto priemonių einamosios išlaidos (kuras, tepalai, atsarginės dalys, remonto kaina ir pan.), kelionės laiko kaina, nuostoliai dėl eismo įvykių bei nuostoliai dėl aplinkos teršimo. Kelio priežiūros išlaidos ir kelio naudotojų išlaidos tiesiogiai priklauso nuo taikomo priežiūros lygio ir kelio kategorijos. Kuo geresnė kelių priežiūra ir didesnės išlaidos jai, tuo mažesnės kelio naudotojų išlaidos, ir atvirkščiai, kuo blogesnė kelių priežiūra ir mažesnės investicijos į ją, tuo didesnės kelio naudotojų išlaidos. Tačiau didinant priežiūros lygį, tuo pačiu didėja ir važiavimo

greitis, ko pasekoje ypatingai žemo intensyvumo keliuose išauga eismo įvykių skaičius, todėl yra labai svarbu rasti balansą tarp saugumo ir mobilumo. Kadangi, kelių priežiūra yra finansuojama iš mokesčių mokėtojų pinigų, tai kelių priežiūros išlaidas ir kelių naudotojų išlaidas galime vadinti visuomenės išlaidomis. Ekonomiškai optimalus priežiūros lygis toks, kuriam esant visuomenės išlaidos (kelio priežiūros ir kelio naudotojų išlaidų suma) yra mažiausios (1.5 pav.).



1.5 pav. Visuomenės išlaidų priklausomybė nuo kelių priežiūros kokybės (COST 344 2002)

Fig. 1.5. Dependence of society expenses on the road maintenance quality (COST 344 2002)

Mažiausių visuomenės išlaidų principas turėtų būti pagrindinis kriterijus nustatant optimalius kelių priežiūros žiemą lygius. Remiantis mažiausių visuomenės išlaidų principu, siekiant nustatyti tam tikro kelio elemento ar darbo optimalų priežiūros lygį, reiktų:

- paskaičiuoti tam tikro kelio elemento priežiūros, arba priežiūros darbų rūšies kainą prie įvairių priežiūros lygių scenarijų;
- nustatyti, kokioms kelio naudotojų išlaidoms – TP eksploatacinėms, kelionės trukmės, ar eismo įvykių nuostoliams, kelio elemento priežiūra, arba priežiūros darbų rūšis, turi įtakos;
- paskaičiuoti kelio naudotojų išlaidas esant skirtingiems tam tikro kelio elemento, arba priežiūros darbų rūšies, priežiūros lygiams;
- nustatyti, prie kurio priežiūros lygio suminės kelio elemento priežiūros ir kelio naudotojų išlaidos yra mažiausios; tas priežiūros lygis ir bus optimalus tam elementui, ar priežiūros darbų rūšiai, tai yra, prižiūrint tą kelio

elementą tokiu lygiu, visuomenės išlaidos bus mažiausios, o prižiūrint jį kitu (kad ir aukštesniu) priežiūros lygiu, visuomenė patirs nuostolius.

Tiek Lietuvos tiek užsienio šalių praktika rodo, kad ne visų kelio elementų priežiūros lygių parinkimui tinka taikyti ekonominius principus, nes ne visada kelio priežiūra turi įtakos kelio naudotojų išlaidoms. Pavyzdžiui, nuo žemės sankasos priežiūros darbų tiesiogiai nepriklauso nei TP eksploatacinės išlaidos, kelionės trukmės nuostoliai, nei avaringumas. Todėl kitais atvejais reiktų vadovautis inžineriniais-techniniais bei administraciniais motyvais.

Lietuvoje galiojantys automobilių kelių priežiūros normatyvai numato tris priežiūros lygius kiekvienai kelio elemento daliai: I – aukštą, II – vidutinį ir III – žemą.

Aukštas priežiūros lygis turi užtikrinti gerą techninę kelio būklę, saugų eismą ištiesią parą visais metų laikais.

Vidutinis priežiūros lygis turi užtikrinti gerą techninę kelio būklę, saugų eismą, tačiau mažesnis dėmesys skiriamas kelio estetiniai būklei. Galimas trumpalaikis eismo nutrūkimas, esant sudėtingoms meteorologinėms sąlygomis žiemą. Sudėtingos meteorologinės sąlygos susidaro tada, kai: – ilgiau kaip 6 valandas sniega ir/arba pusto; – ilgiau kaip 24 val., tačiau su pertraukomis, sniega ir/arba pusto; – įšalęs kelias po lietaus apledėja, esti lijudra; – per parą kelias apledėja daugiau kaip 2 kartus; – oro temperatūra per dieną nepakyla aukščiau minus 8 °C.

Žemas priežiūros lygis turi užtikrinti eismo saugumą ir kelio tinkamumą naudoti, tačiau skiriamas mažas dėmesys kelio estetinei būklei. Galimi eismo nutrūkimai, esant polaidžiui, sudėtingoms meteorologinėms sąlygoms žiemą.

Netgi esant žemiausiam priežiūros lygiui turi būti garantuojamas kelio arba kelio elemento funkcionalumas (išskyrus sudėtingas meteorologines sąlygas žiemą). Taigi, jeigu kelio elemento priežiūra neturi įtakos kelio naudotojų išlaidoms (autotransporto priemonių einamosioms išlaidoms, kelionės trukmei ir avaringumui), tai jo priežiūros lygis turės įtakos tik jo estetinei būklei. Todėl tokių elementų priežiūros lygio parinkimui neverta atlikti detalaus ekonominio ar techninio inžinerinio vertinimo.

Priežiūros lygis yra tiesioginis automobilių kelių eksploatacijos ir priežiūros paslaugos teikiamos kelių vartotojams įvertinimas, nuo kurios tiesiogiai priklauso kelio priežiūros ir kelio naudotojų išlaidos – kuo geresnė kelių priežiūra, tuo mažesnės kelio naudotojų išlaidos, ir atvirkščiai.

Mažiausių išlaidų principas turėtų būti pagrindinis kriterijus optimalių priežiūros lygių nustatyme, tačiau ne visiems kelio elementams ar priežiūros darbų rūšims priežiūros lygių vertinimui tinka taikyti ekonominius principus. Todėl pirmaisiai reikia nustatyti, kokiems kelio elementams, kokie optimalaus lygio nustatymo principai bus taikomi. Tuo tikslu apžvelgiamas kiekvienas elementas ir darbų rūšis atskirai (Kelių... 2014).

Apžvelgiant elementus reikia nustatyti ar elemento priežiūra turi įtakos kelio naudotojų išlaidoms, jei taip, tai:

- kokios darbų rūšys įeina į jo priežiūrą;

- kokios darbų rūšys ir kokie reikalavimai turi įtakos kelio naudotojų išlaidoms;
- kokioms kelio naudotojų išlaidoms turi įtakos kelio elemento priežiūros darbai;
- ar tas kelio naudotojų išlaidas galima apskaičiuoti prie skirtingų elemento priežiūros lygių.

Žemės sankasa

Skiriamosios juostos, šlaitų, griovių, rezervų ir šalikelių priežiūra neturi įtakos nei autotransporto priemonių einamosioms išlaidoms, nei važiavimo greičiui (laiko sąnaudoms), nei avaringumui, arba tos įtakos negalima įvertinti ekonomine išraiška, todėl žemės sankasos optimalus priežiūros lygis turi būti nustatytas remiantis inžineriniais-techniniais ir administraciniais motyvais.

Važiuojamoji dalis

Nuo kelio dangos būklės žiemą priklauso ir automobilių judėjimo greitis ir kelionės laiko trukmė. Šias vartotojų išlaidas galima apskaičiuoti sumodeliavus meteorologinių reiškinių įtaką kelio dangos būklei. Sniego valymas ir slidumą kelyje mažinančių medžiagų barstymas – tiesiogiai įtakoja eismo sąlygas – važiavimo greitį ir avaringumą. Nuo važiavimo sąlygų priklauso ir kuro sąnaudos, todėl dangų priežiūra žiemą turės įtakos ir autotransporto priemonių einamosioms išlaidoms. Šias kelio naudotojų išlaidas galima apskaičiuoti sumodeliavus dangų priežiūros žiemą įtaką automobilių judėjimo greičiui (VĮ Kelių... 2003; Blomqvist 2006).

Apibendrintai galima teikti, kad automobilių transporto priemonių darbo kokybę ir ekonominius rodiklius labiausiai įtakoja važiuojamosios dangos būklė žiemą. Veikiama nepalankių meteorologinių reiškinių danga gali apledėti arba pasidengti suvažinėto sniego danga, ko pasekoje TP važiavimo greitis gali mažėti net 40–50 %, degalų sąnaudos didėja 50–70 %, o bendros transporto išlaidos išaugti net iki 60 %. Be to pagrįsta tikimybė, kad vertindami nepakankamai gerai vykdomą priežiūrą užsienio vežėjai gabendami krovinius gali aplenksti mūsų šalį, pasirinkdami kitus alternatyvius krovinių gabenimo maršrutus, o tai ne tik gadintų Lietuvos, kaip tranzitinės šalies reputaciją, tačiau ir turėtų tiesioginių ekonominių pasekmių, dėl nesurinktų kelių mokesčių ir negautų kitų pajamų (kuro akcizas, krovinių terminalų nuostoliai ir pan.). Visa tai rodo kokią didelę reikšmę turi kelių priežiūros žiemą kokybė visam ekonominiam šalies gyvybingumui.

1.2. Lietuvos klimatinų sąlygų ir jų specifikos analizė

Automobilių kelių priežiūra žiemą tiek technologiniu, tiek organizaciniu požiūriu visiškai priklauso nuo aplinkos oro sąlygų. Žiemos laikas Lietuvoje yra pats sudėtingiausias užtikrinant saugų ir patogų transporto sistemų funkcionavimą. Pagrindinis veiksnys, apsunkinantis šių sistemų normalų darbą, – oro sąlygos tiesiogiai veikiančios transporto priemonės ir šių sistemų infrastruktūros elementus. (Juknevičiūtė-Žilinskienė 2009).

Žiemos sezonas Lietuvoje trunka vidutiniškai iki 6 mėnesių – nuo lapkričio iki kovo mėn. Pagal pasaulio klimato klasifikaciją, didžiojoje Lietuvos teritorijos dalyje vyrauja vidutiniškai šaltas klimatas su gausiu sniegu žiemą. Paties šalčiausio mėnesio vidutinė oro temperatūra yra žemesnė nei -3°C , o paties šilčiausio nepakyla aukščiau 22°C . Tokia temperatūra yra būdinga vidutinei Rytų Europos daliai.

Tuo tarpu vakarinio Lietuvos pakraščio ir Kuršių Nerijos klimatas nusakomas kaip vidutiniškai šiltas. Čia vidutinė šalčiausio mėnesio oro temperatūra viršija -3°C . Šis klimato tipas yra vyraujantis Vakarų Europoje (Leonovič *et al.* 2014).

Iš vakarų Lietuvą supa Baltijos jūra, Atlanto vandenyno ekvatorijos ir nedideli sausumos plotai. Tuo tarpu šalies rytuose kelis tūkstančius kilometrų tęsiasi Euroazijos žemynas. Būtent dėl to Lietuvos teritorijoje, nors tai yra pajūrio kraštas, klimatas nėra tipiškai jūrinis. Iš vakarų į rytus didėja klimato kontinentalumas t. y. auga temperatūros metinė paros amplitudė, oras tampa sausesnis ir mažėja kritulių (Juknevičiūtė-Žilinskienė 2009).

Šaltajam metų laikui būdingas pavojingas meteorologinis reiškinys – lijundra ir lijundros apnašos. Spalio – balandžio mėnesiais vidutiniškai būna 9–19 dienų su lijundra (daugiausiai aukštumose ir Šiaurės Lietuvoje). Vienos lijundros trukmė dažniausiai neviršija 12 valandų, vėjo greitis siekia 2–5 m/s (6–9 m/s pajūryje). Dažniausiai pasitaikanti vėjo kryptis – pietvakarių (30–60 %). Dar vienas meteorologinis reiškinys, būdingas šaltajam sezonui – šerkšnas. Šerkšnotų dienų šalyje per metus būna 9–23 (daugiausia – pietų Lietuvoje, mažiausiai – pajūryje) (Leonovič *et al.* 2014).

Pagrindiniai klimato veiksniai prižiūrint automobilių kelius žiemą

Važinėdami automobilių keliais vairuotojai susiduria su daugybe įvairiausių meteorologinių veiksnių, kurie blogina važiavimo kokybę ir neretai sudaro avarinę situaciją. Lietuvos automobilių keliai iki 6 mėnesių per metus yra eksploatuojami žiemos sąlygomis. Žiemos sezonu eismo sąlygos pasunkėja dėl šių priežasčių:

- kelias pasidengia ledo plėvele, susiformuoja plikledis;
- iškritęs sniegas apsunkina eismo sąlygas;
- susidarę sniego liežuviai sumažina matomumą;
- pailgėja tamsus paros laikas;
- kitos priežastys.

Atliekant klimatinių sąlygų ir jų specifikos analizę, pagrindinis dėmesys skiriamas meteorologijų reiškinių įtakai kelio važiuojamajai dangai. Kadangi didžiausią įtaką kelio naudotojų išlaidoms turi būtent apledėjusi ar apsnigta kelio danga. Nors neabejotinai važiavimo sąlygoms, ypatingai apsunkinant matomumą ir transporto priemonių kontrolę turi įtakos klimatiniai reiškiniai tokie kaip oro ir dangos temperatūra, oro drėgnumas, krituliai, rūkas, vėjas, saulės radiacija, debesuotumas, tačiau tik šių veiksnių poveikis kelio važiuojamajai gali būti reguliuojamas kelių priežiūros lygiais (sniego valymas ir slidumą kelyje mažinančių medžiagų barstymas).

Transporto priemonių eismui keliais didžiausią pavojų sukelia plikledis, padengiantis kelio dangą. Plikledžio metu kelio danga padengiama plonu, iki 1 mm storio, ledo sluoksniu. Plikledis susidaro tada, kai ant dangos nusėda ir užšąla susikondensavę vandens garai bei lietaus lašeliai lijundros metu. Šio proceso metu kelio dangos ir automobilių padangų sukibimo koeficientas sumažėja iki 0,08–0,15. Sukibimo koeficientas yra absoliutus dydis pagal kurį galima spręsti apie sukibimą tarp kelio dangos ir transporto priemonės ratų (palyginimui švarios ir sausos dangos koeficientas gali būti nuo 0,45 iki 1,00) (Haavasoja *et al.* 2012; Raslavičius *et al.* 2016). Ledo plėvelė ant kelio dangos paprastai susidaro 1–3 mm storio, o prispausto sniego ir ledo balta matinė pluta būna iki 10 mm storio. Ledo tankis svyruoja nuo 0,7 iki 0,9 g/cm³, o matinės plutos – 0,5–0,7 g/cm³.

Taip pat didelį poveikį eismui sudaro ir iškritęs sniegas. Neigiamas sniego poveikis eismui priklauso nuo iškritusio sniego kiekio, sniego ar pūgos intensyvumo ir pasikartojančio dažnio, aplinkos temperatūros, vėjo greičio ir krypties bei keliu vykstančio eismo intensyvumo. Visi šie veiksniai glaudžiai tarpusavyje susiję ir gali kartotis įvairiais variantais.

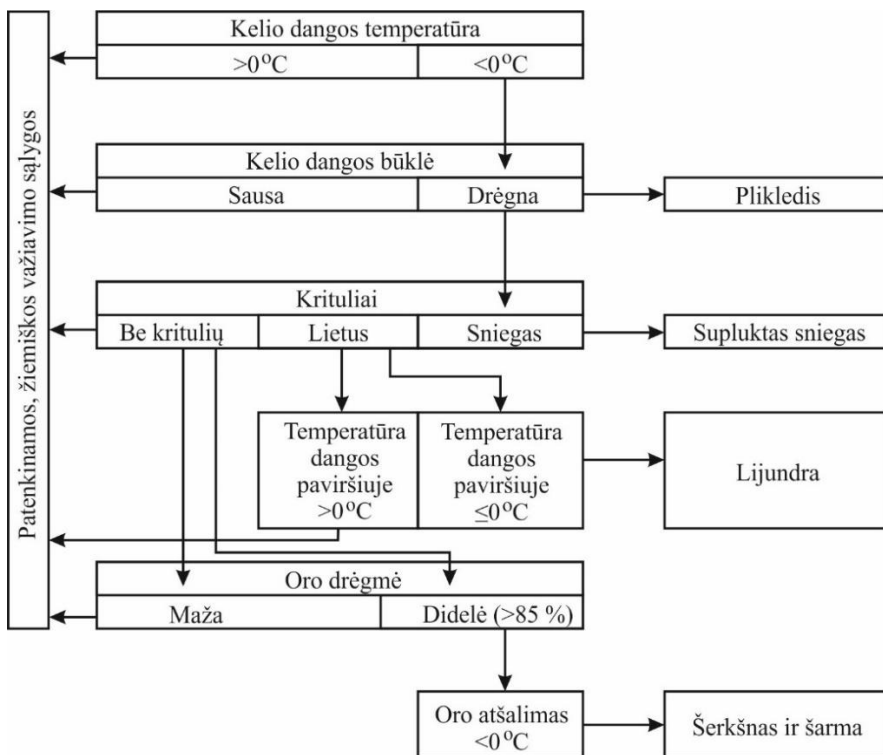
Lygus puraus sniego sluoksnis ant kelio dangos susidaro sningant be vėjo ir esant neigiamai oro temperatūrai. Tokio puraus sniego tankis svyruoja nuo 0,06 iki 0,20 g/cm³. Priklausomai nuo drėgmės kiekio, sniegas gali būti sausas, drėgnas ar šlapias. Iškritus tokiems krituliams, transporto priemonių padangų sukibimo koeficientas su sniegu padengta kelio danga sumažėja iki 0,2 ir kartu padidėja stabdymo kelio ilgis.

Lietuvoje dažniausiai vieno snigimo metu keliai padengiami nuo 1 iki 5 cm storio sniego sluoksniu, tačiau būna ir tokių atvejų, kai vieno snigimo metu kelio danga pasidengia 15 cm ir kartais didesniu sniego storiu. Per žiemos sezoną gali pasitaikyti pūgų, kurių metu sniego pusnys iškaskose ir kitose vietose siekia iki 1,5 m ir keliai gali tapti sunkiai pravažiuojami.

Susidariusios sniego dangos ant kelio būklė nėra pastovi – ji dėl anksčiau minėtų veiksnių įtakos nuolat kinta. Tik iškritęs sniegas yra labai purus. Pradinis jo tankis siekia apie iki 0,2 g/cm³. Veikiant temperatūrai ir transporto priemonių ratams, sniegas tankėja. Ypač greitai sniegas tankėja, kai aplinkos temperatūra artėja prie 0 °C. Tankėdamas sniegas stiprėja ir jo tankis didėja iki 0,5–0,6 g/cm³.

Tankėjančio sniego pasipriešinimas valymo mechanizms didėja, o jeigu sutankėjęs sniegas virsta ledu, jo pasipriešinimas padidėja 30 kartų.

Tankėdamas sniegas keičia kelio dangų priežiūros sąlygas: smarkiai sumažėja kelio dangos ir automobilio padangų sukibimo koeficientas ir labai padidėja pasipriešinimas riedėjimui. Dėl nenuvalyto sniego automobilių vairuotojams labai padidėja automobilių eksploatacinės ir kelionės laiko išlaidos. Vairuotojai priversti mažinti greitį, kad dėl mažo su kelio danga sukibimo koeficiento galėtų laiku sustabdyti automobilį.



1.6 pav. Veiksniai, darantys įtaką slidumui keliuose žiemos sezonu
(sudaryta autoriaus)

Fig. 1.6. Factors affecting slipperiness on the roads in the winter season
(compiled by the author)

Slidumui keliuose susidaryti įtakos turi šie veiksniai:

- kelio važiuojamosios dalies temperatūra, tipas, būklė;
- transporto priemonių intensyvumas;
- krituliai, jų rūšis ir kiekis;

- debesuotumas;
- vėjo greitis ir kryptis;
- temperatūrų skirtumas važiuojamosios dalies paviršiuje ir oro sluoksnyje prie pat dangos paviršiaus.

Šių išvardintų veiksnių sąveiką galima supaprastintai atvaizduoti schema, kuri pavaizduota (1.6 pav.).

Užsienio šalių mokslininkų atlikti tyrimai parodo, kaip didėja eismo įvykio rizika, esant slidžiai arba padengtai sniegu kelio dangai (1.2 lentelė).

1.2 lentelė. Eismo įvykio rizikos laipsnio priklausomybė nuo dangos būklės (Usman *et al.* 2010)

Table 1.2. The dependence of the road accident risk degree on the condition of the surface (Usman *et al.* 2010)

Kelio dangos būklė	Santykinis rizikos laipsnis
Sausa, švari	1,0
Drėgna, švari	1,3
Danga, padegta prispaustu sniego sluoksniu	1,5
Danga, padengta ledu	4,4

Iš 1.2 lentelės matyti, kad rizikos laipsnis patekti į eismo įvykį, esant slidžiai ir padengtai sniegu kelio dangai, yra 1,5–4,5 karto didesnis negu esant sausai kelio dangai (Usman *et al.* 2010).

Analizuojant didžiausią įtaką eismo dalyviui turinčių meteorologinių veiksnių atsiradimo tikimybę, pirmiausia reikėtų išskirti septynis meteorologinių veiksnius (pūgos, plikledžio, sniego, rūko, vėjo, žemos temperatūros ir didelio oro drėgnumo) atskirai ir jų derinius.

Kaip minėta anksčiau klimatinės sąlygos (lietus, sniegas, plikšala, lijdura) gali sumažinti rato sukibimo su danga koeficientą iki 10 kartų. Matomumas priklauso ne tik nuo stebimo objekto geometrinių parametrų, bet ir nuo meteorologinių veiksnių: rūko, kritulių intensyvumo, oro drėgmės ir skaidrumo (Matsuzawa *et al.* 2009). Šiuo metu, nustatant matomumą, atsižvelgiama tik į geometrinius kelio parametrus.

Meteorologiniai veiksniai veikia automobilio ar jų srauto važiavimo greitį, nulemia kelio dangos būklę ir daro įtaką vairuotojų reakcijai į aplinką:

- važiuojant naktį, lyjant, sningant, siaučiant pūgai ar esant rūkui, važiavimo greitis sumažėja, nes sumažėja matomumas ir vairuotojui sunkiau teisingai įvertinti situaciją kelyje;
- šlapia, apledėjusi ar apsnigta kelio danga turi gerokai mažesnę sukibimo koeficientą, dėl to sumažėja eismo saugumas, eismo dalyviams sunkiau

manevruoti, be to, apsnigta kelio danga padidina pasipriešinimą riedėjimui, o tai didina kuro sąnaudas ir sumažina automobilio greitį;

- iškritus sniegui pakinta faktinis važiuojamosios dalies plotis: dažnai susidaro tik trys provėžos ir tai apsunkina automobilių galimybę prasilenkti;
- stiprus vėjas turi įtakos automobilio greičiui ir stabilumui;
- aplinkos oro temperatūra turi įtakos kelio dangos būklei, variklio temperatūriniam režimui, vairuotojo savijautai ir visa tai veikia važiavimo greitį.

Automobilių kelių priežiūros žiemą požiūriu reikšmingiausi veiksniai žiemą:

Sniego danga. Vidutiniškai pirmasis sniegas pasirodo spalio pabaigoje rytinėje Lietuvos dalyje, lapkričio pradžioje – likusioje Lietuvos teritorijoje, o paskutinio sniego iškritimo data būna balandžio pabaigoje visoje Lietuvoje. Vidutiniškai pastovi sniego danga susidaro nuo gruodžio 15 d. Lietuvos rytuose iki gruodžio 30 d. pietinėje Lietuvos dalyje. Pastovios sniego dangos išnykimo data dažniausiai būna kovo viduryje pajūryje, o likusioje Lietuvos dalyje – kovo pabaigoje. Didžiausias sniego dangos storis Lietuvos teritorijoje kinta nuo 10 cm Lietuvos pajūryje, iki 35 cm rytinėje Lietuvos dalyje. Snieguotomis žiemomis storiausia sniego danga siekia net 90 cm. Ilgiausiai (apie 105 dienos) sniegas išlieka šiaurės rytų Lietuvoje. Paprastai sniego danga ištirpsta iki kovo 25 dienos.

Pūga. Lietuvoje pūgų trukmė kinta nuo 50 iki 125 valandų per metus. Trumpiausiai pūga pasireiškia (iki 50 val.) Lietuvos pajūryje, šiaurinėje bei pietinėje (apie Lazdijus) dalyse, ilgiausiai – nuo 125 val. – vakarinėje Lietuvos dalyje.

Lijundra. Lietuvoje palankios sąlygos lijundrai susidaryti (didelis santykinis oro drėgnumas ir dažni temperatūros svyravimai, dažni šiltieji atmosferos frontai šaltuoju metų laiku). Lijundros atvejų užfiksuojama nuo spalio iki balandžio mėnesių. Dažniausiai lijundra pasireiškia vakarinėje Lietuvos dalyje. Vienos lijundros trukmė paprastai neviršija 12 valandų, tačiau pasitaiko atvejų, kai ji trunka net kelias paras.

Vėjas. Stipriausi vėjai pučia lapkričio ir sausio mėnesiais, pajūryje 6–7 m/s, o likusioje šalies dalyje apie 3–5 m/s. Vėjų stiprumas ir pasikartojimo dažnumas ir kryptis įtakoja automobilių kelių priežiūros žiemą darbus. Vėjo ir sniego derinys apsunkina transporto eismą arba visai jį sustabdo. Nuo to, kiek smarkiai pustomi keliai ir, kokia intensyvi žiema, priklauso kelių priežiūros tarnybų materialinių ir energetinių išteklių sunaudojimas. Dar kelio projektavimo stadijoje svarbu žinoti apie vėjo kryptį, greitį ir stiprumą tame regione, kur bus projektuojamas kelias. Atviroje vietovėje tiesiamo kelio projekte turi būti numatytos patikimos apsaugos nuo užpustymo priemonės.

Apibendrinant galima teigti, kad automobilių kelių priežiūra žiemą tiek technologiniu, tiek organizaciniu požiūriu visiškai priklauso nuo oro sąlygų. Sningant ir

pustant reikia valyti kelius, esant lįjundroms ir susidarant ledui ant kelio dangos – juos barstyti (VGTU... 2015).

Transporto poveikis klimato kaitai

Deginant iškastinį kurą, į atmosferą patenka daug anglies dvideginio (CO_2), kuris nespėja natūraliai suskilti ir dėl to jo koncentracija atmosferoje sparčiai didėja.

Anglies dvideginis, metanas, freonai drauge su kai kuriomis kitomis dujomis sulaiko dalį šilumos, atspindindamos nuo saulės įkaitinto žemės paviršiaus, tuo pat metu neleisdamos jai pasklisti už atmosferos ribų tarsi šiltnamyje. Todėl šis reiškinys vadinamas šiltnamio efektu. Dėl šiltnamio efekto vidutinė temperatūra Žemėje yra $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, o ne $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, todėl Žemėje gali egzistuoti gyvybė.

Tačiau dėl didėjančio šiltnamio dujų kiekio atmosferoje šiltnamio efektas stiprėja ir sukelia reiškinius, kurių visuma vadinama klimato kaita.

Jungtinių Tautų Tarpyvyriausybinių klimato kaitos komisija apibendrina ir sistemina pasaulio mokslinius tyrimus klimato kaitos srityje. Komisijos ekspertai sutaria, jog klimato kaitą labiausiai lemia žmogaus ūkinė veikla, ypatingai iškastinio kuro naudojimas energijos poreikiams. Šią mokslo žiniomis grindžiamą poziciją palaiko daugybė, net 163 įvairios pasaulio mokslo institucijos, tarp jų ir Lietuvos mokslų akademija (Fresh Air... 2011).

Transportas yra svarbus klimato kaitos veiksnys dėl gana paprastos priežasties – šiandien paplitusioms transporto priemonėms būtinas iškastinis kuras. Lietuvos transporto sektorius sudaro apie penktadalį visų šalies CO_2 išmetimų. Po energetikos sektoriaus tai yra antras pagal svarbą ūkio sektorius, darantis neigiamą poveikį klimato kaitai (Swhartz 2011; BEF Lithuania... 2013).

Svarbu pažymėti, kad beveik pusė visų transporto CO_2 išmetimų susidaro dėl naudojimosi individualiais automobiliais (BEF Lithuania... 2013).

Lietuvos automobilių parkas yra gana senas – vidutiniškai 15-kos metų, tačiau daugiausiai transporto poveikį klimato kaitai lemia mūsų gyvenimo būdas. Lyginant 2010 m. ir 1990 m. Lietuvoje stebimas 50 % lengvųjų automobilių skaičiaus augimas nuo 1 mln. iki 1,5 mln. (Statistikos departamentas).

Pagal Baltijos aplinkos forumas pagal Fizinių ir technologijos mokslų centro Fizikos instituto duomenis, vienu automobiliu vidutiniškai naudojasi du žmonės, įskaitant pensininkus ir vaikus. Skačiuojama, kad dauguma (apie 80 %) važinėjančių automobiliais kasdieną nuvažiuoja mažiau kaip 25 km, o maždaug kas antra (apie 50 %) kelionė yra trumpesnė kaip 10 km.

Nuvažiavus 100 km vidutiniu benzininiu automobiliu išmestas CO_2 kiekis prilygsta 50 kWh Lietuvoje tiekiamos elektros, t. y. apie 20 kg CO_2 . Kadangi vidutinis šalies namų ūkis suvartoja apie 165 kWh per mėnesį (BEF Lithuania... 2013), tokį pat poveikį klimato kaitai atitinka viena kelionė iš Vilniaus į Klaipėdą (maždaug 300 km).

Pagal dabartinę Lietuvoje tiekiamos elektros sudėtį (šaltiniai iš kurios pagaminama elektros energija) elektromobiliai jau yra kur kas palankesni klimato kaitai nei benzinu ar dyzelinu varomos transporto priemonės. Jų daromas poveikis turėtų mažėti proporcingai didėjant iš atsinaujinančių energijos išteklių išgaunamos elektros daliai. Jeigu automobilio naudojimo išvengti negalima, vis tiek galima mažinti poveikį klimato kaitai, renkantis mažiau kuro naudojančius automobilius bei stengiantis taikyti taupaus vairavimo principus, kurie gali padėti sumažinti kuro sąnaudas – o drauge ir poveikį aplinkai – netgi penktadaliu.

Klimato kaitos poveikio visuomenės sveikatai tyrimai šalyje beveik neatliekami, išskyrus pavienius atvejus, kai Vilniaus universitete studentams skiriamos su klimato kaita susijusios diplominių darbų temos, šalyje atsiranda pavieniai mokslininkai, besidomintys klimato kaitos poveikiu visuomenės sveikatai. Deja, tam skirtų mokslinių tematikų ar mokslinių projektų nėra, tokie tyrimai nėra prioritetiniai LR sveikatos apsaugos ministerijoje bei nėra šios ministerijos remiami (Adomaitytė 2007). Tačiau užsienio šalių mokslininkai savo atliktais tyrimais nustatė reikšmingą klimato kaitos poveikį oro kokybei (Giorgi, Meleux 2007), tiesioginę aukštesnės oro temperatūros poveikį mirtingumui (Švedijos... 2007), poveikį darbo produktyvumui (Kjellstrom *et al.* 2009) ir daugelį kitų neigiamų poveikių žmonių gyvenimo kokybei. Visame pasaulyje klimato kaita tiek tiesiogiai, tiek netiesiogiai prisideda prie ligų ir ankstyvų mirčių. Numatoma, kad tiesioginis poveikis bus intensyvesnės ir dažniau pasitaikančios ekstremalaus oro sąlygos, o netiesioginis poveikis bus susijęs, pavyzdžiui, su oro, maisto kokybės ir kiekio pokyčiais. Nors šiuo metu klimato kaitos poveikis sveikatai yra nedidelis, tačiau užsienio šalių mokslininkai įspėja, kad laikui bėgant poveikis vis didės visose šalyse ir regionuose. Nustatyta, kad neigiamas klimato kaitos poveikis didžiausias yra neturtingose besivystančiose šalyse. Nors dauguma tyrimų skirti šioms šalims, tačiau yra ir keletas tyrimų klimato kaitos poveikio sveikatai ir Europos regionui.

1.3. Kelių priežiūros žiemą įtaka eismo saugumui analizė

Lietuva priklauso šalims, patiriančioms didelį meteorologinių sąlygų poveikį transporto sistemoms. Vien 2011–2014 metais valstybinės reikšmės keliuose daugiau nei ketvirtadalis eismo įvykių užregistruota esant nepalankiems meteorologiniams reiškiniams. Šis poveikis sustiprėja šaltuoju metų sezonu, kai daugiau kaip trečdalis eismo įvykių užregistruojama esant sudėtingoms vairavimo sąlygoms. Minėti skaičiai dar kartą pabrėžia, kaip svarbu tiksliai įvertinti nepalankių eismui meteorologinių sąlygų poveikį eismo saugumui ir, atsižvelgiant į orų prognozes, racionaliai taikyti efektyvias kelių priežiūros priemones.

Kelių priežiūros kokybė žiemą turi didelę įtaką eismo įvykiams ir jų skaičiui. Sniegas ir ledas kelyje ženkliai sumažina automobilių ratų sukibimą su kelio danga. Tai padidina stabdymo kelią ir sukelia pavojų prarasti transporto priemonės kontrolę. Užsienio šalyse atlikta daug tyrimų siekiant nustatyti kelių priežiūros žiemą įtaką eismo saugumui (Andrey *et al.* 2001; Shankar *et al.* 1995; Hermans *et al.* 2006; Nixon, Qiu 2008; Qin *et al.* 2007; Fu *et al.* 2006; Hanbali, Kuemmel 1992, 1993; Norrman *et al.* 2001).

Kelių priežiūroje žiemą naudojamų druskų efektyvumą vieni pirmųjų nustatė amerikiečių mokslininkai (Hanbali, Kuemmel 1992). Išsamių tyrimų rezultatai parodė vidutiniškai 87 % automagistralėse ir 78 % greitkeluose eismo įvykių sumažėjimą, pradėjus priežiūroje žiemą naudoti ledą tirpdančias druskas. Tai parodo kokią reikšmingą įtaką druskų naudojimas turi intensyvių kelių priežiūroje, kuriuose vyrauja dideli važiavimo greičiai (daugiau kaip 90 km/h).

Labai daug tyrimų buvo atlikta, nustatant įvairios kelio dangos būklės įtaką eismo saugumui (Andrey *et al.* 2001; Eisenberg, Warner 2005; Velavan 2006; Knapp *et al.* 2002; Nixon, Qiu 2008; Roskam *et al.* 2002).

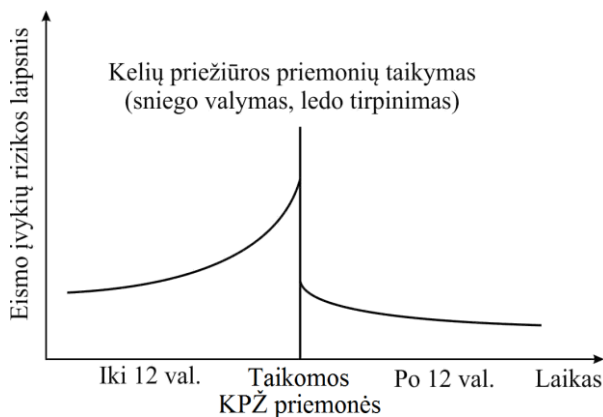
Pavojingi eismui meteorologiniai reiškiniai, kaip sniegas, pūga, rūkas ar stiprus vėjas ir net retai pasitaikantys krušos atvejai labai įtakoja eismo saugumą bei intensyvumą keliuose, tiek ir miestuose, tiek ir užmiestyje (Musk 1991).

Vienas iš svarbiausių faktorių, įtakančių padangų sukibimą su kelio danga, yra sniego ir ledo sluoksnio buvimas ant kelio dangos (Haavasoja *et al.* 2002; Bianchini *et al.* 2011). Vidutiniškai eismo įvykių pavojus slidžiam kelyje yra iki 20 kartų didesnis lyginant su sausa kelio danga. Pats pavojingiausias eismo saugumo požiūriu yra kelio apledėjimas, kadangi šis pavojingas meteorologinis reiškinys susidaro per labai trumpą laiką ir vairuotojams yra sunkiai pastebimas (Raukola 1996; Lister 1998). Kanadiečių mokslininkų atliktame tyrime nustatyta, kad sningant ir lyjant eismo įvykių kiekis vidutiniškai padidėja daugiau nei dvigubai lyginant su eismo įvykių kiekiu sausu oru (Andrey 2003; Andrey *et al.* 2003; Suggett 2003). Tačiau eismo įvykių pasekmės lengvesnės. Tai aiškinama, kad sningant ar lyjant eismo sąlygos yra sudėtingesnės ir vairuotojai tai vizualiai geriau pastebi ir geba pasirinkti saugesnę greitį bei yra atidesni (Khattak, Knapp 2001; Andrey 2003; Eisenberg, Warner 2005). Panašūs tyrimai buvo atlikti Lietuvoje, kur J. Kažys su kolegomis atliko eismo įvykių skaičiaus priklausomybės nuo meteorologinių sąlygų tyrimą Vilniaus mieste (Kažys *et al.* 2006). Mokslininkai nustatė, kad per 2001–2002 metų laikotarpį eismo įvykių skaičius Vilniaus mieste buvo du ir daugiau kartų didesnis lyginant su vidutinėmis avaringumo reikšmėmis. Sniegas yra pavojingiausias meteorologinis reiškinys šaltuoju metu, kurio santykinio autoįvykių tankio koeficiento reikšmė lygi 1,5.

Žiemos kelių priežiūros priemonės yra įgyvendinamos po to, kai pradėjo snigti (sniego valymas, barstymas ir panašiai), arba prieš susidarant pavojingoms

kelio dangos sąlygoms (prevencinė priežiūra). Jei šios priemonės neįgyvendinamos, tuomet sumažėja dangos ir automobilių ratų sukibimo koeficientas ir išauga eismo įvykių atsiradimo rizika. Švedijoje ir Vokietijoje atlikti tyrimai leido sudaryti rizikos modelį per 24 val. laikotarpį keliuose, kur žiemos kelių priežiūros priemonių poveikis buvo tiriamas. Modelis pateikiamas 1.7 paveiksle.

Laikotarpyje, iki kelių priežiūros priemonių taikymo, eismo įvykio rizika didėja palaipsniui, o po jų pritaikymo rizika gerokai sumažėja, ir palaipsniui važavimo sąlygos tampa normalios. Minėtos rizikos modelis parodo, kokią didelę įtaką turi priežiūros priemonių įgyvendinimo operatyvumas.



1.7 pav. Eismo įvykių rizikos modelis prieš ir po žiemos kelių priežiūros priemonių įgyvendinimo (The Handbook... 2009)

Fig. 1.7. The model of accident risk prior to and after the implementation of the road maintenance measures (The Handbook... 2009)

Siekiant nustatyti kelių priežiūros žiemą įtaką eismo įvykiams, buvo atsižvelgta į daugiau kaip 20 atliktų tyrimų duomenis – JAV, Švedijoje, Suomijoje ir kitose šalyse (1.3 lentelė). Kaip matyti 1.3 lentelėje, padidinus kelių priežiūros kokybę vienu priežiūros lygiu, įskaitinių eismo įvykių sumažėtų apie 12 %, o techninių – apie 30 %, – tai rodo, jog kelių priežiūros kokybė turi didelę įtaką eismo saugumui. Šie rezultatai gauti iš atliktos (The Handbook... 2009).

Tačiau minėtos tendencijos netaikytinos rajoninės reikšmės keliuose. Išnagrinėjus 2010–2014 metų Lietuvos avaringumo duomenis šaltuoju metų laiku, nustatyta, kad nuo 2011 metų, kai didelėje dalyje rajoninių kelių (nuo 1000 iki 1379 km) imtas taikyti I-as rajoninių kelių priežiūros lygis, eismo įvykių rizika šiuose keliuose bendrai išauga iki 20 %.

Automobilių kelių priežiūroje žiemą atsisakius naudoti chemines medžiagas įskaitinių eismo įvykių skaičius išaugtų apie 12 %. Tai rodo, kad druskų panaudojimo efektyvumas užtikrinant kelių priežiūros reikalavimus šiuo metu yra svarus (1.3 lentelė) (The Handbook... 2009).

1.3 lentelė. Kelių priežiūros kokybės žiemą įtaka eismo saugumui (The Handbook... 2009)
Table 1.3. The impact of the road maintenance quality on road safety (The Handbook... 2009)

Eismo įvykio sunkumas	Procentinė eismo įvykių išraiška		
	Eismo įvykio rūšis	Geriausias rezultatas	Rezultatų kitimo ribos
Padidinus kelių priežiūros kokybę vienu priežiūros lygiu per visą žiemos sezoną			
Eismo įvykiai su sužeistaisiais	Visi eismo įvykiai	–12	(–14; –10)
Eismo įvykiai, kurių metu patiriama materialinė žala	Visi eismo įvykiai	–30	(–32; –29)
Kelių barstymas druska (druskos tirpalu ir pan.) per visą žiemos sezoną			
Eismo įvykiai su sužeistaisiais	Visi eismo įvykiai	–15	(–22; –7)
Eismo įvykiai, kurių metu patiriama materialinė žala	Visi eismo įvykiai	–19	(–39; +6)
Kelių priežiūra nenaudojant barstymo druska (druskos tirpalu ir pan.) per visą žiemos sezoną			
Eismo įvykiai su sužeistaisiais	Visi eismo įvykiai	+12	(–4; +30)
Eismo įvykiai, kurių metu patiriama materialinė žala	Visi eismo įvykiai	+1	(–15; +21)
Padidinant kelių priežiūros žiemą taikymo operatyvumą (greitesnis reagavimas) per visą žiemos sezoną			
Nenustatytas	Visi eismo įvykiai	–8	(–14; –1)
Barstymo druska (druskos tirpalu ir pan.) efektyvumas po paros			
Nenustatytas	Visi eismo įvykiai	–35	(–59; +3)
Nenustatytas	Visi eismo įvykiai	–24	(–42; 0)
Barstymo frikcinėmis medžiagomis (smėliu, žvyru ir pan.) efektyvumas po paros			
Nenustatytas	Visi eismo įvykiai	–62	(–24; +6)

1.4. Kelių priežiūros žiemą įtaka kelių transporto priemonių važiavimo greičiui ir kelionės trukmei

Automobilių transporto priemonių važiavimo kokybė, greitis ir kelionės trukmė labai priklauso nuo kelių tinklo priežiūros. Priežiūra žiemą iš esmės skiriasi nuo kelių priežiūros vasarą, todėl jai taikomi kitokie normatyvai. Ypač aktualūs kelių priežiūros darbai žiemą yra sniego ir ledo pašalinimas nuo važiuojamosios dalies. Akivaizdu, kad ne visų kelio elementų priežiūros lygių vertinimui tinka taikyti ekonominius principus, nes ne visada atskirų kelio elementų priežiūra turi įtakos kelio naudotojų išlaidoms. Pavyzdžiui, nuo žemės sankasos priežiūros darbų tiesiogiai nepriklauso nei TP priežiūros išlaidos ar intensyvumas, nei kelionės nuostoliai, nei eismo saugumas. Iš visų kelio elementų žiemą pati sudėtingiausia, brangiausia bet tuo pačiu turinčią ir didžiausią įtaką kelio naudotojų išlaidoms yra važiuojamosios dangos priežiūros kokybė.

Būtent kelio važiuojamosios dangos priežiūrai žiemą taikomos priemonės iš esmės įtakoja saugias TP eismo sąlygas šaltuoju metų laikotarpiu, o nuo jos kokybės ir efektyvumo priklauso automobilių kelių eismo dalyvių patiriamos kelionių išlaidos (kuro sąnaudos, TP priežiūros išlaidos), patogumas ir kelionės trukmė. Svarbu pažymėti, kad net taikant aukščiausius kelių priežiūros kokybės reikalavimus užtikrinti tokias pat važiavimo sąlygas kaip šiltuoju metų laiku yra neįmanoma.

Jei šiltuoju metų laikotarpiu kelionės trukmė automobilių keliuose prie skirtingų priežiūros lygių beveik nekinta, tai šaltuoju laikotarpiu ypatingai iškritus gausesniai kietųjų kritulių kiekiui turi aiškia įtaką važiavimo greičiui, o tuo pačiu ir kelionės trukmei. Žiemos metu atliekant kelių priežiūrą skirtingais priežiūros lygiais keičiasi automobilių važiavimo greitis. Važiuojant automobiliais tą patį atstumą skirtingais greičiais, keleiviai užtrunka kelionėje nevienodai (Munehiro *et al.* 2012).

Kelionės laiko sąnaudos. Ekonomikos teorijoje kelionės laikas yra išreiškiamas pinigais (Automobilių kelių investicijų vadovas, 2015). Kelionės kaina išreiškiama apibendrintomis sąnaudomis, kurios apjungia kelionės laiką ir pinigines išlaidas. Kelionėje sugaištas laikas individo požiūriu yra sąnaudos, nes tuo metu jis negali atlikti kitos veiklos. Sutaupyto laiko vertė priklauso nuo to, ką individas gali sukurti per tą laiką. Išskiriamos žmogaus darbo laiko, nedarbo laiko bei krovinio transportavimo laiko sąnaudos. Kelionės gali būti suskirstytos į vietines ir tarptautines bei verslo ir ne verslo keliones, kadangi skirtinga šių kelionių laiko vertė (Automobilių kelių investicijų vadovas, 2015). Kelionės trukmė priklauso nuo pasirinkto maršruto ilgio, transporto priemonės, kelio būklės, leistino greičio, transporto priemonės techninių charakteristikų, eismo intensyvumo ir kelio laidumo. Investicijų projektuose turi būti atskirai vertinamos kelionės laiko sąnaudos normaliomis sąlygomis ir kelionės laiko sąnaudos transporto spūstyse.

Kelių priežiūros įtaka vidutiniam TP greičiui ir kelionės trukmei buvo tiriama daugelio mokslininkų (1.4 lentelė). Lietuvos mokslininkų indėlio šioje tematikoje

nebuvo, todėl buvo analizuoti užsienyje atliktų mokslininkų tyrimų rezultatai (Strong and Shi 2008; Lee *et al.* 2008). Dėl anksčiau pateiktų priežasčių, didžioji dalis užsienyje atliktų tyrimų buvo koncentruota į kelių oro sąlygų (kurios labiausiai įtakoja važiuojamosios dangos būklę) įtaką TP vidutiniam važiavimo greičiui. Vienas iš dažnai cituojamų tokio pobūdžio tyrimų buvo atliktas Kanadiečių mokslininkų (Ibrahim and Hall 1994). Tyrimai buvo atlikti konkrečiame kelyje šalia Ontarijo mieste Kanadoje, nustatant TP važiavimo greičio priklausomybę nuo kelio oro sąlygų (tikslus meteorologinius duomenis paimant iš šalia esančio oro uosto). Rezultatai parodė, kad esant lengvam sniegui ($<0,1$ cm/h) TP greitis sumažėja 1–5 km/h, o itin intensyviame ($>0,5$ cm/h) sniegas greitį gali sumažinti net 50 km/h (Wallman *et al.* 1997).

Labai įdomius rezultatus gavo švedų mokslininkai (Wallman *et al.* 1997), kurie nustatė, kad žemesnio kelių priežiūros lygio keliuose (kuriuose tik tam tikri pavojingi ruožai barstomi frikcinėmis medžiagomis) važiavimo greitis, po kelio dangos barstymo, pamažėjo vidutiniškai 8 km/h (nors važiavimo sąlygos pagerėjo). Mokslininkai šį netikėtą rezultatą paaiškino taip, kad vizualiai matydami smėlį ant dangos, vairuotojai „įvertina“, kad ir neapdorotuose ruožuose gali būti slidu.

1.4 lentelė. Mokslininkų gauti duomenys apie oro sąlygų įtaką kelių transporto priemonių vidutiniam važiavimo greičiui

Table 1.4. Researchers' data on the impact of the weather conditions on the vehicle average driving speed

Literatūros šaltinis	Tyrimo atlikimo	Tyrimo pavadinimas	Tyrimo vertinti veiksniai	Tyrimų pagrindinės išvados
1	2	3	4	5
Ibrahim, Hall (1994)	Kanada	Effect of Adverse Weather Conditions on Speed–Flow–Occupancy Relationships	Lengvas sniegas ir intensyvus sniegas	Esant lengvam sniegui TP greitis sumažėja 1–5 km/h. Esant intensyviame sniegui TP greitis sumažėja 38–50 km/h.
Agarwal <i>et al.</i> (2005)	Minnesota (JAV)	Impact of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity	Sniego intensyvumas Vėjas Matomumas	Procentinis TP greičio sumažėjimas (nuo srauto greičio 65 mph arba 105 km/h.): Lengvas sniegas 3–5 % Vidutinio intensyvumo sniegas 7–9 % Intensyvus sniegas 11–15 %

1.4 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5
Maki (1999)	Mine- sota, (JAV)	Adverse Weather Traffic Signal Ti- ming	Sniego storis ≥ 3 coliai ($\geq 7,6$ cm)	TP greičio sumažėjimas nuo 44 mph (71 km/h) iki 26 mph (42 km/h) iškri- tus daugiau kaip 7,5 cm sniego
Hranac <i>et al.</i> (2006)	Mine- sota, Sietlas, Vašik- tonas, Balti- morė, Meri- landas (JAV)	Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather	Sniego intensy- vumas Matomu- mas	Esant lengvam sniegui TP greitis sumažėja 5–16 % Esant intensyviu snie- gui TP greitis sumažėja 5–19 %
Enberg, Mannan (1998)	Suo- mija	Effects of Road and Weather Conditions on Traffic Flow on a Three-Lane Rural Highway in Finland	Kelio dangos apledėji- mas Krituliai (sniegas) TP eismo intensy- vumas	Dienos metu esant snie- gui TP greitis sumažėja 5–6 km/h, o tamsiu paros metu – 8–12 km/h Nėra TP greičio sumažė- jimo esant slidžiai kelio dangai (apledėjimui)
Perrin <i>et al.</i> (2001)	Juta (JAV)	Modifying Signal Timing During Inclement Weather	Kelio dangos ir oro sąly- gos	Esant šlapiai kelio dangai TP greitis sumažėja 10 % Esant šlapiai kelio dangai ir sningant TP greitis su- mažėja 13 % Esant šlapiai kelio dangai ir šlapdribai TP greitis sumažėja 25 % Esant šlapdribai ir susida- rius sniego provėžoms TP greitis sumažėja 30 %

Vairuotojai ne visada sugeba tinkamai įvertinti pavojingą kelio dangos būklę, tai įrodo ir kitų šalių mokslininkų atliktų tyrimų rezultatai (Enberg and Mannan 1998). Suomijoje atlikti tyrimai parodė, kad kelio apledėjimas daro mažą įtaką TP

važiavimo greičiui, o netgi tam tikrais atvejais esant šlapiai kelio dangai ir šalant orui (ko pasekoje kelio danga apledėja) važiavimo greitis netgi padidėja.

Meteorologinių sąlygų įtaka nagrinėjama įvairiais aspektais. Apibendrinant JAV atliktus eismo srautų kiekių ir greičių svarbiose magistralėse tyrimus galima teigti, kad nepalankių meteorologinių sąlygų metu eismo srautai sumažėja 6–30 %, greitis 10–40 %, o transporto vėlavimas siekė 11–12 % (Goodwin, 2002).

1.5. Teisės aktų, reglamentuojančių kelių priežiūrą žiemą, apžvalga

Visas automobilių kelių priežiūros žiemą organizavimas, veiklos reglamentavimas, vartotojų poreikiai ir daug kitų klausimų tiesiogiai priklauso nuo atitinkamos šalies klimatinės, organizacinių, politinių ir socialinių charakteristikų. Šiuo metu tiek Lietuvoje, tiek užsienio šalyse kelių transporto sektorius susiduria su sudėtinga situacija, kuomet kelių priežiūros ir remonto biudžetai kasmet yra mažinami (ar bent jau nedidinami), nors turto išlaikymo kaštai vis didėja, tačiau tuo pačiu reikalaujama išlaikyti ne prastesnę nei esamą kelių būklę, o tam tikrais atvejais ją net ir pagerinti. Tokios tendencijos verčia apžvelgti visus praktikoje žinomus ir ieškoti naujų kelių infrastruktūros valdymo ir priežiūros efektyvinimo būdų, įskaitant modernią kelio parametrų monitoringui atlikti technologinę įrangą, optimalų priežiūros ir remonto darbų planavimą, naujas priežiūros darbų pirkimo procedūras, sudėtingas dangų valdymo sistemas, darbų planavimą remiantis ne vien struktūriniais ir ekonominiais, bet taip pat ir aplinkosauginiais bei socialiniais naudos ir kaštų skaičiavimais (Parkman *et al.* 2012).

Kelių tinklo specifikai pritaikyto kelių infrastruktūros turto valdymo organizavimas ir tikslus infrastruktūros turto valdymo procedūrų identifikavimas yra esminiai aspektai, nuo kurių priklauso efektyvus kelių infrastruktūros turto valdymas. Kelių infrastruktūros turto valdymas ir organizavimas skirtingose šalyse skiriasi dėl daugelio kelių tinklo valdymą lemiančių ir įtakančių faktorių:

- kelių tinklo tipo (greitkeliai, valstybinis kelių tinklas, vietinių kelių tinklas ir pan.);
- kelių tinklo dydžio (ilgis) ir tankumo;
- nacionalinės kelių direkcijos struktūros (centralizuota, regioninė ir pan.);
- kelių infrastruktūros objektų, už kurių valdymą yra atsakinga organizacija, skaičiaus ir tipo;
- priskirtų atsakomybių;
- finansavimo galimybių ir teisinių reikalavimų;
- specialistų kvalifikacijos;
- kita.

Siekiant atlikti teisės aktų, reglamentuojančių kelių priežiūrą žiemą apžvalga išanalizuotos 9 didžiausių patirtį prižiūrint automobilių kelius žiemą turinčių užsienio šalys (Austrija, Vokietija, JAV, Slovėnija, Olandija, Šveicarija, Norvegija, Švedija ir Suomija). Apžvelgta kokie reikalavimai taikomi šalyse kelių būklei žiemą, kokie šių reikalavimų galiojimo terminai, nustatyti kaip ir pagal kokius kriterijus užsienio šalyse keliai (kuriems taikomi tam tikri reikalavimai) suskirstyti į grupes, kokiomis medžiagomis ir technologijomis pasiekiami reikalavimai kelių būklei žiemą, bei nustatyti kiti veiksniai pagal kuriuos parenkami kelių priežiūros žiemą lygiai.

Daugumoje užsienio šalių yra priimti atitinkami kelių teisės aktai (įstatymai, taisyklės, ministerijų įsakymai, kodeksai, konstitucijos taisyklės ir kiti), taikomi atsakomybei už žiemos priežiūrą bei įvairių kelių tinklo vadovų veiklai. Dažnai tokia atsakomybė ir veikla deleguojama remiantis įvairiomis prižiūrėtinų kelių klasėmis, keliant galutinį tikslą: užtikrinti laisvą, saugų prekių ir žmonių judėjimą jų taikymo teritorijoje.

Išnagrinėjus išsivysčiusių pasaulio šalių kelių priežiūros žiemą valdymo patirtį nustatyta, kad daugumoje jų taikoma bent trijų lygių kelių priežiūra žiemą (I – aukšta, II – vidutinė, III – žema). Kiekvienas priežiūros lygis atitinka skirtingą prižiūrimą objektą, dažnai remiantis eismo intensyvumu ir įvairių kelių tinklo klasifikacija (magistraliniai, krašto ir rajoniniai keliai) (Kelių... 2014).

Kartais KDPŽ reikalavimai nustatomi aiškiai (Suomija, Norvegija, Švedija). Į juos įeina kelių dangos sąlygų, susidariusių dėl žiemos reiškinių, apibūdinimas (švarus kelias, iš dalies švarus kelias ir t.t.), su kuriais siejasi įvairūs fiziniai parametrai, pagal kuriuos galima spręsti, ar išlaikomas nustatytas priežiūros lygis, ar ne (nurodytų sąlygų atstatymo laikas ar trukmė, didžiausias sniego storis ir t. t.).

Šiaurės šalys (Suomija, Norvegija, Švedija) plačiai naudoja ir atsparumo slydimui kriterijus. Kurie praverčia atliekant KDPŽ kontrolę, bei įvertinant finansinius atsiskaitymus su rangovais už atliktus kelių priežiūros darbus.

Austrijoje, Vokietijoje, Slovėnijoje ir Šveicarijoje kelių dangos sąlygų reikalavimai nėra tiksliai apibrėžti. Tačiau žiemos priežiūros tvarka (veiksmo rūšis ir laikas, barstymo druska trukmė) irgi nustatyti pagal esamą kelių tinklo klasifikaciją (infrastuktūros charakteristikas, ekonominę svarbą), bei klimato ir eismo sąlygas.

Galutinių tikslų aprašymas – svarbi tema šalims, kurios kelių žiemos priežiūrą patiki privačioms įmonėms. Šis aprašymas įgalina įvertinti, ar jos pasiekė nustatytus lūkesčius, taip įvertinant gyventojams teikiamas paslaugas.

1.6. Kelių priežiūros žiemą infrastruktūra, naudojamos medžiagos ir technologijos

Cheminiai medžiagos, kuriais tirpinamas sniegas ir ledas keliuose parenkami atsižvelgiant į ekonominius rodiklius, taip pat į jų fizines bei chemines savybes, tokias kaip tirpumas, eutektinė temperatūra, ledo tirpinimo kinetika, hidroskopiskumas, susigulėjimas. Bet svarbu, ar šios medžiagos nebūtų toksiškos, nedirgintų odos bei gleivinės, nebūtų sprogios ir degios (Rimkus 2003).

Pastaraisiais metais Lietuvoje iš cheminių medžiagų, galinčių nuo kelių dangų ištirpinti ledą ir sniegą, plačiai naudojami NaCl, CaCl₂, bei raudonoji druska. Baltos techninės druskos pastarosiomis žiemomis sunaudojama apie 100 tūkst. tonų per sezoną, o raudonosios – apie 12 % nuo bendro druskos kiekio, frikcinių mišinių gamybai (Rimkus 2003).

Naudojamas ir NaCl + CaCl₂ mišinys. Tai efektyvus reagentas esant žemai oro temperatūrai, nes CaCl₂ žemina užšalimo temperatūrą. Šis mišinys santykiu 88:12 nesusiguli sandėliuojant. Optimaliausias ir ekonomiškiausias variantas kovai su kelių slidumu – tai barstyti NaCl, sudrėkintą CaCl₂ tirpalu. Šio metodo esmė ta, kad NaCl sudrėkintas CaCl₂ lygiau ir greičiau paskleidžiama ant dangos paviršiaus, sumažina nuostolius, nes šlapia druska vėjo ir automobilių ratų mažiau nusiviedžiama į kelkraščius, geriau prilimpa prie dangos, iki 25–40 % sumažina NaCl sunaudojimą. CaCl₂ panaudojimas tirpale leidžia greičiau pasiekti norimą efektą, nes prie žemesnės kaip –17 °C aplinkos temperatūros (kai NaCl jau neveikia), tirpalas išlieka ilgesnį laiką, neleisdamas ledui prilipti (prišalti) prie kelio dangos paviršiaus (Cuelho *et al.* 2010).

Išanalizavus užsienio šalyse kelių priežiūrai žiemą naudojamas medžiagas slidumo sumažinimui pastebėta, kad dauguma šalių savo aukščiausio priežiūros lygio kelių grupėms naudoja chemines medžiagas chloridų pagrindu, o žemesnių priežiūros lygio kelių grupėms populiariausios frikcinės barstomosios medžiagos (smėlis, žvyras, skaldelė ir panašiai). 1.5 lentelėje pateiktos išanalizuotose šalyse naudojamos medžiagos automobilių kelių priežiūrai žiemą.

Kai kuriose šalyse pateiktos tikslios fizinių medžiagų charakteristikų specifikacijos ir jų vartojimas (chloridų rūšys ir koncentracijos, dalelių dydis, drėgnumas, pakuotė, išbarstomas kiekis). Pateikiami ir duomenys apie cheminių medžiagų tiekimą bei reikalingas frikcinių barstomų medžiagų (smėlio, žvyro, skaldos užpildo) charakteristikas (Chappelow *et al.* 1993).

Sparčiai augant poreikiui kurti bei tobulinti šaltuoju sezonu naudojamas medžiagas ledo tirpimo temperatūrai mažinti, ieškoma būdų kuo pigiau bei mažiau veikiant aplinką gaminti alternatyvius sintetinius produktus taip seniai kelių priežiūrai žiemą naudojamai druskai NaCl. Ši naudojama druska pasižymi ryškiomis korozinėmis savybėmis, o taip pat ir požeminių vandenų, druskingumo



1.8 pav. Medžiagų naudojamų kelių priežiūrai sandėliavimas
(Snow and Ice Databook 2010)

Fig. 1.8. Storage of materials used for road maintenance
(Snow and Ice Databook 2010)

Nemažai aplinkosauginių problemų yra susijusios dėl netinkamo druskų sandėliavimo ir naudojimo. Druskos turi būti laikomos uždengtoje patalpoje (1.8 pav.), kad nebūtų jokio sąryšio su vandeniu. Druskos turi būti laikomos ant nepralaidaus pagrindo (asfaltas ar betonas), kad druskos negalėtų persiskverbti į gruntus (Blomqvist 2001).

Vietos, į kurias suvežamas sniegas, turi būti toliau nuo vandens telkinių.

Alternatyvios medžiagos natrio chloridų druskoms

Pasaulyje yra nemažai įvairiausių medžiagų bei jų mišinių (organinių ir neorganinių), gerai tirpinančių sniegą ir ledą. Tai: silvinitai, kalio chloridas, $MgCl_2$, karbamidas, kalio acetatas, kalcio nitratas, amonio hidrofosfatas ir kitos medžiagos, kurių yra 5–14 kartų brangesnės už $NaCl$, tačiau mažiau kenksmingos aplinkai bei žmogui (Craver *et al.* 2008; Shi *et al.* 2009; Jonušienė 2000).

Rusijoje kelius žiemą prižiūrinčios įmonės naudoja naują produktą žiemos kelių priežiūrai – bišofitą. Jo cheminė sudėtis $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. Ši baltų miltelių pavidalo medžiaga, gaminama iš natūralių požeminių druskų telkinių, skystą druskos tirpalą iškelus į paviršių ir išgarinus. Pagrindinė bišofito sudedamoji dalis – tai $MgCl_2$, kurio kiekis svyruoja nuo 58 % iki 54 %, ir 44 % kristalizacinio vandens. Į jo sudėtį dar įeina 0,3 % $CaCl_2$, 0,6 % $NaCl$ ir + 0,3 % KCl . Likusią dalį (apie 44 %) sudaro kristalizuotas vanduo. Šios medžiagos, vienos tonos kaina daugiau nei 200 Eur/t, tačiau yra pigesnė negu $CaCl_2$ (360 Eur/t).

A. Rimkaus atliktos analizės „Chloridų, naudojamų sniego ir ledo tirpinimui keliuose, poveikio aplinkai įtakančių faktorių analizė“ rezultatai parodė, kad iš

trijų tirtų medžiagų (NaCl , CaCl_2 ir bišofito), korozijos atžvilgiu mažiausiai agresyvus yra būtent bišofitas, be to jis ledą tirpina beveik du kartus greičiau nei CaCl_2 . (Rimkus 2003).

Kitas būdas druskų neigiamam poveikio problemai spręsti yra specialių priedų, vadinamų inhibitoriais (reagentai, kurių nedideli kiekiai daugiau ar mažiau sulėtina cheminius procesus), naudojimas. Tai gali būti neorganinės ir organinės kilmės medžiagos bei įvairios jų kombinacijos. Veikiant inhibitoriams, ant metalo ar betono gaminio paviršiaus susidaro plėvelės, saugančios jį nuo tolesnės korozijos. Nemažai atliktų darbų įrodė teigiamą poveikį inhibitorių natrio, kalcio bei magnio chloridų tirpaluose (Cuelho *et al.* 2010; Karatan, Ratnikov 1976; Laurinavičius 1999).

Labiausiai ištirtinėti ir naudojami koroziją mažinantys inhibitoriai, pasižymintys didesniu ar mažesniu teigiamu efektu druskų tirpaluose:

- Lignosulfonatai su metalo (Zn, Co, Cd, Mn, Sb) jonų priedais (JAV patentas).
- Natrio adipinatas (kaprolaktamo gamybos produktas). Jo įdėjus ne tik keletą kartų sumažėja korozija, bet ir padidėja druskos efektyvumas, nes natrio tirpalo (su šiuo inhibitoriu) eutektikos temperatūra yra $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Natrio aluminatas, kurio įdėjus 1–2 % sumažėja druskų agresyvumas ir padidėja temperatūrų diapazonas.

Yra užpatentuota įvairių sudėtingesnių organinių ir neorganinių junginių bei jų mišinių, kurių sudėtis neskelbiama. Pavyzdžiui, Prancūzijos firma, prekiaujanti druska, produktų sąrašė turi druską su antikorozinu priedu (pagal JAV patentą) „Cargil CG–90“, sumažinančia koroziją iki 90 %.

Inhibiciniai priedai įeina ir į komercinį („Safeway“ „Clearway“) tipo preparatų nuo apledėjimo sudėtį (Rimkus 2003).

Tačiau paminėti korozijos inhibitoriai turi vieną esminį trūkumą, jie yra labai brangūs, todėl toliau pateikiama Lietuvoje gaminamos inhibicinių savybių turinčias medžiagas.

A. Rimkaus atliktoje analizėje „Chloridų, naudojamų sniego ir ledo tirpinimui keliuose, poveikio aplinkai įtakojančių faktorių analizė“ (Rimkus 2003), buvo atlikti tyrimai su trejais inhibitoriais (amofasu, diamofasu ir superfosfatu) veikiančių NaCl tirpale. Rezultatai parodė, kad visi tirti inhibitoriai turi antikorozinį poveikį NaCl tirpaluose. Geriausias inhibicinis efektas gautas naudojant 3 % diamofosą. Ši medžiaga sumažina plieno plokštelių koroziją apie 80 %. Tyrime su betonu 3 % diamofoso (nuo NaCl masės) žalingas poveikis sumažėja 11 %. Padidinus tirpale diamofoso kiekį iki 10 %, betono stiprio nuostolį galima sumažinti iki 23 % (Rimkus 2003).

Įvertinus pateiktus minėto tyrimo rezultatus matosi, kad tikslui sumažinti druskų korozinio poveikio nuostolius transportui ir susisiekimo statiniams, kartu su druskų tirpalu skirtu kelių priežiūrai žiemą, naudoti inhibitorius naudoti tikslinga.

Austrijoje, Švedijoje ir kitose šalyse nurodomi NaCl vartojimo apribojimai. Faktiškai tam tikruose kelių ruožuose draudžiama naudoti chloridų druskas, ypač dėl kai kurios aplinkos jautrumo. Pavyzdžiui Austrijoje, Vienos regione, vietoj druskų barstomas kalio karbonatas, o Švedijoje – gruntinių vandenų apsaugos zonoje naudojamas kalio formiatas.

Kaip rodo užsienio šalių patirtis, būtina, prieš pradedant naudoti įvairias aparšytas ir kitas alternatyvias medžiagas, detaliai išnagrinėti jų tiekimo, transportavimo, sandėliavimo, bei jų panaudojimo (techninius pajėgumus) reikalavimus ir kitus ypatumus. Kadangi kai kurios iš šių medžiagų labai jautrios aplinkos drėgnumui ir transportuojamos vakuuminiuose maišuose. Be to įvertinant jų pakankamai didelę kainą, atlikti naudos ir kaštų analizę.

Frikinės medžiagos

Tradiciškai tiek Lietuvoje, tiek užsienio šalyse naudojamos frikinės medžiagos yra smėlis, smulkus žvyras (vienas arba mišinys su druskomis). Šiaurės šalyse vidutinių ir žemesnių kelių priežiūros lygių kelių grupėse plačiai naudojama granitinė skaldelė, kuri puikiai tinka tuose keliuose kur ypatingai sunku (be to kaip parodė šiose šalyse atlikti tyrimai ir nebūtina) pašalinti sniegą nuo kelių dangos. Pasibaigus žiemai skaldelė ir kitų naudojamų kelių priežiūrai medžiagų likučiai surenkami ir pašalinami nuo kelio dangų. Naudojamos birios sausos medžiagos, kurių drėgmė ne didesnė kaip 5 %. Frikinės medžiagos dažniausiai naudojamos vidutinio ir žemo kelių priežiūros lygių automobilių keliuose, kadangi šios medžiagos neigiamą plikledžio atsiradimą gali tik sušvelninti.

Tačiau palyginti su cheminėmis medžiagomis, jas reikia barstyti dažniau ir didesniais kiekiais. Brangus yra šių medžiagų surinkimas ir pašalinimas po naudojimo (pavasari). Ekologinis jų poveikis taip pat vertinamas nepalankiau nei cheminių barstomųjų medžiagų. Pastaraisiais metais Vokietijoje ir kitose pasaulio šalyse vis rečiau ir mažesnėmis apimtimis taikomos frikinės medžiagos, o Olandijoje jos iš vis nenaudojamos. Vokietijos Federalinės aplinkosaugos agentūros (vok. „*Umweltbundesamt*“) užsakymu atlikta studija (COST 344 2002), parodė, kad ledo tirpinimo medžiagos daro mažiau neigiamą poveikį aplinkai, negu frikinės. Kitos atliktos eismo saugumo studijos parodė, kad cheminių medžiagų naudojimas daug efektyviau, nei frikinės medžiagos sumažina eismo įvykių riziką urbanizuotose zonose, pagrindiniuose keliuose ir stačiose nuokalnėse. O mažuose gyvenvietėse, bei kitose mažo intensyvumo automobilių keliuose, kur eismas ir greičiai nėra dideli, net be barstymo medžiagų nekyla eismo saugumo problemų, kur pilnai pakanka intensyvesnio sniego valymo (COST 344 2002).

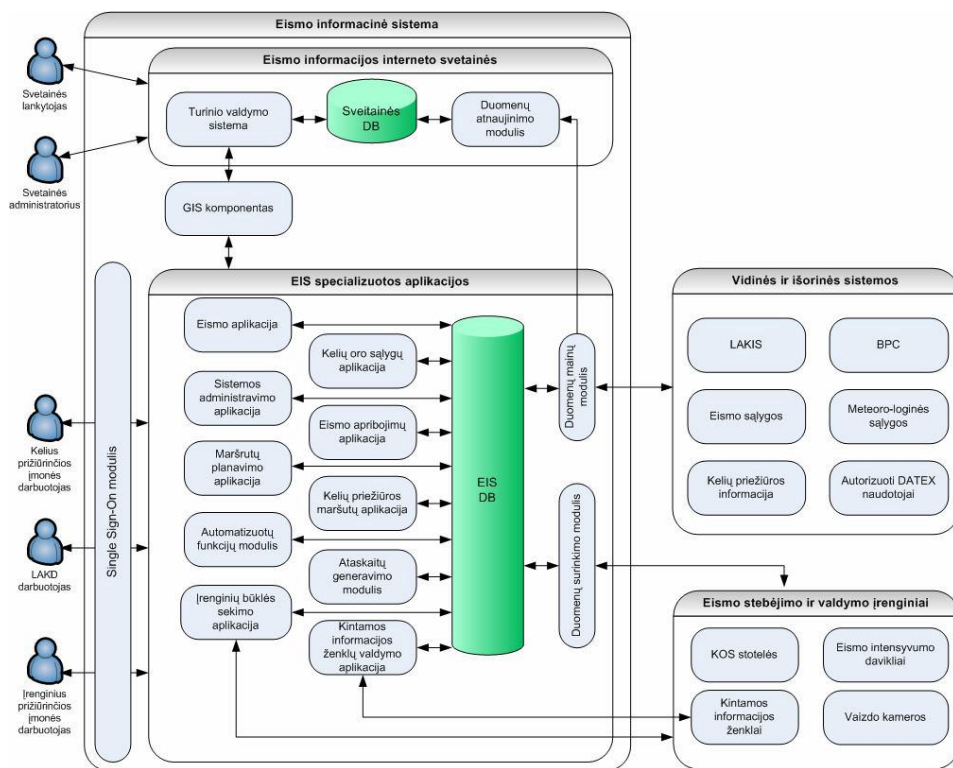
Tačiau, žvelgiant iš šios dienos Lietuvos kelių priežiūros žiemą perspektyvos frikinių medžiagų visiškai atsisakyti būtų netikslinga, kadangi vidutinio priežiūros lygio kelio dangos (krašto ir rajoninių kelių) kokybė šiai dienai nėra itin geros

būklės, o su provėžomis ir kitais dideliais dangos defektais automobilių kelių priežiūroje, siekiant nutirpdyti ledą ar sniego dangą reikia nepalyginamai daugiau medžiagų (provėžose esantis ledas būna daug storesnis ir pan.). Todėl minėtuose keliuose intensyvesnis sniego valymas, išlyginant ir pašiaušiant sniego dangą, bei barstant frikcines medžiagas yra daug efektyvesni. Be to esant lijudrai tirpinimui keliuose naudojamos druskos gali greitai atsiskiesti ir būti nuplaunamos nuo važiuojamosios kelio dalies, tuomet panaudojant frikcines medžiagas galima greitai užtikrinti saugų eismą, be to jos efektyvios ir esant labai žemai oro temperatūrai (kai druskos nustoja veikti).

Kelių priežiūroje naudojamos technologijos

Labai svarbų vaidmenį prižiūrint kelius žiemą atlieka šiuolaikinė technika ir technologijos. Šiandien technologijų dėka yra daugybė įvairių būdų realiu laiku gauti tikslią, konkrečią informaciją iš kelių tinklo. Į jas įeina įvairios technologijos ir žiemos priežiūros transporto priemonėse sumontuotos sistemos, skirtos įvairiems duomenims (geopadėties nustatymo, duomenų sklaidos, sukibimo koeficientas matavimų, vykdomos veiklos ir t. t.) rinkti. Lygiai taip pat šiuo metu vertinamos meteorologinių duomenų, įskaitant pačių eismo dalyvių naudojamų automobilių surinktus duomenis, integravimo sistemų kūrimas. Viena iš jų tai 1999 m. Lietuvoje įdiegta Eismo informacinė sistema (EIS) (1.9 pav.). Ši informacinė sistema sukurta pagal analogišką firmos „Enator Telub“ sukurtą ir Švedijoje įdiegtą *Road Weather Information system (RWIS)*. Jos tikslas – surinkti ir kaupti duomenis apie ekstremalius oro sąlygų pasikeitimus labiausiai klimato įtakojamuose valstybinių kelių taškuose Lietuvoje. Pagrindinis EIS tikslas – sumažinti kelių palaikymo be ledo bei sniego dangos kaštus ir tuo pat metu užtikrinti automobilių kelių saugumą, eismo funkcionalumą žiemą. Pagrindinę informaciją eismo informacinė sistema gauna iš automatinio kelių oro sąlygų stotelių (KOS) ir eismo valdymo įrenginių (automatiniai eismo intensyvumo skaitikliai, vaizdo stebėjimo kameros, kintamos informacijos ženklai). Tai šalia kelio esantis įrenginys su jutikliais, matuojančiais įvairius kelio ir oro sąlygų parametrus. Matavimai atliekami nuo 1999 m. gegužės 21 d. Dabartinis meteorologinių stočių skaičius siekia 110, ateityje planuojama plėsti stočių tinklą iki 130 stotelių. Kiekviena KOS stotelė yra pilnai automatizuota ir matuoja bei nustato įvairius meteorologinius parametrus: oro, rasos taško, kelio dangos paviršiaus ir gilesnių kelio dangos sluoksnių temperatūrą. Vėjo kryptį ir greitį, kritulių kiekį ir pobūdį. O taip pat į EIS sistemą integruotas sprendimų paramos modelis galintis įspėti apie pavojingas eismui važiavimo sąlygas (kelio apledėjimą, sumažėjusį matomumą). EIS suteikia galimybę keistis informacija automatinio būdu su kitomis informacinėmis sistemomis (bendrojo pagalbos centro informacinė sistema, policijos registruojamu įvykių registru, Administracinių teisės pažeidimų ir eismo įvykių registru, o taip pat su kitų

kaimyninių šalių informacinėmis sistemomis (Latvijos, Lenkijos, Baltarusijos kelių oro sąlygų informacinėmis sistemomis). EIS sistema yra sujungta su kelių priežiūros mechanizmų kontrolės sistema, bendrojo pagalbos centro informacine sistema ir kitomis eismo informacinėmis sistemomis. Visą šią sudėtingą sistemą administruoja 2011 metais LAKD įkurtas nacionalinis Eismo informacijos centras (EIC). Tai integruotų intelektinių transporto sistemų duomenų apdorojimo ir pateikimo visuomenei paslauga. EIC veikia ištisą parą, jos pagrindinis tikslas rinkti, kaupti, sisteminti ir teikti visuomenei, bei kelių priežiūrintiems specialistams informaciją apie eismo sąlygas šalies valstybinės reikšmės keliuose, koordinuoti kelių priežiūros veiksmus.



1.9 pav. Kelių eismo informacinės sistemos funkcionavimo schema
(Lietuvos... 2014)

Fig. 1.9. The operation scheme of the traffic information system
(Lietuvos... 2014)

EIC apdoroti duomenys pateikiami atskiroms vartotojų grupėms sukurtomis specializuotomis internetinėmis programėlėmis: 1. Kelių oro sąlygų 2. Eismo intensyvumo 3. Įrenginių būklės sekimo 4. Kintamos informacijos ženklų valdymo 5. Eismo apribojimų 6. Maršrutų planavimo 7. Kelių priežiūros maršrutų.

Užsienio šalyse atlikti tyrimai parodė, kad investavus į panašias kaip EIS sistemas, ateityje galima tikėtis gauti net 5 kartus didesnės ekonominės naudos bei išvengti kelių priežiūros tarnybų klaidų žiemą (Boselly *et al.* 1993; Boon, Cluett 2002). Daugiau kaip 14 metų kaupiami meteorologiniai duomenys, kartu su kitais EIS fiksuojamų įrenginių duomenimis gali būti sėkmingai panaudoti moksliniais tikslais. Daugelis mokslininkų (Goodwin 2002; Rakha *et al.* 2012) tyrė oro sąlygų poveikį eismo srautams, mobilumui ir eismo saugumui. Panaudojant EIS sukauptus duomenis yra galimybė analizuoti kelių priežiūros darbų ekonominį efektą, optimizuojant patiriamus kaštus ir teikti rekomendacijas atitinkamoms institucijoms (Andrey, Mills 2003; Andrey *et al.* 2003; Weather and transportation... 2003).

Mobilieji kontrolės prietaisai

Kelio dangos sukibimo koeficientas yra esminis rodiklis, nusakantis kelio dangos paviršiaus būklę ir kelių priežiūros kokybę (Wallman, Åström. 2001; Andersson *et al.* 2007). Todėl yra labai svarbu stebėti kaip šis dydis kinta ir remiantis parodymais, operatyviai reaguoti į susidariusias pavojingas sąlygas, taip užtikrinant saugų eismą keliuose.

Neskaitant KOS stotelėse atliekamų matavimų, iki 2011 metų Lietuvoje kelio dangos sukibimo koeficientas buvo nustatomas vizualiai arba naudojant trumpalaikio stabdymo metodą.

Taikant minėtą metodą, kelius prižiūrintis specialistas staigiai stabdydavo transporto priemonę ir, įvertindamas automobilio stabdymo laiką, stabdymo kelią bei pasitelkdamas savo patirtį, nustatydavo dominančio koeficiento reikšmę. Tačiau šis metodas turi keletą trūkumų:

- kiekvieno meistro patirtis yra skirtinga;
- kas kartą stabdant transporto priemonę, stabdžių pedalo paspaudimas yra skirtingas;
- skirtinguose automobiliuose nevienodai veikia stabdžių sistema;
- sudėtingas eismo saugumo užtikrinimas, nes, kaskart stabdant transporto priemonę, būtina įsitikinti ar nebus sudaryta avarinė situacija.

2012 metų žiemą Lietuvoje pradėti naudoti automobilių kelių dangos slidumo matavimo įrenginiai. Automobilio gale įrengtas prietaisas tiria kelią ir perduoda informaciją apie kelio dangą į mobilųjį telefoną (1.10 pav.), arba tiesiai į EIC esantį LAKD, kur informacija pasiekama regiono kelininkams (Problematika 2012).



1.10 pav. Mobilius optinis sukibimo koeficiento matavimo įrenginys RCM 411 (kairėje pusėje) ir vartotojo sąsaja (dešinėje pusėje) (VGTU... 2015)

Fig. 1.10. Mobil optical friction measurement device RCM 411 (on the left) and user's interface (on the right) (VGTU... 2015)

Mobiliajame ekrane rodomi duomenys (linijos spalvos): raudona – ledas, mėlyna – vanduo, violetinė – šlapias sniegas ir balta – sniegas, o rodomas skaičius – sukibimo koeficientas (1.10 pav.).

Duomenis iš sukibimo koeficiento matavimo jutiklių GSM tinklu galima persiųsti į centrinį serverį (EIC esantį LAKD), identifikuojant pagal ID numerį ir pateikti rezultatus (sutartinėmis spalvomis) žemėlapyje realiu laiku, taip pat šie duomenys nesunkiai gali būti perkelti į „Microsoft Excel“ programą.

Šios slidumo matavimo kelyje technologijos naudingos ne tik kelių būklės kokybei žiemos metu įvertinti ir kontroliuoti, bet ir kelių priežiūros žiemos metu veiksams planuoti. Kelių priežiūros žiemą budėtojai / meistrai važiuodami su įjungtu slidumo matavimo įrangos komplektu gali objektyviai įvertinti bei užfiksuoti kelio būklę bei sukibimo koeficientą. Budėtojai įmonėse, įvertindami KOS stotelių ir kamerų duomenis bei duomenis iš šių slidumo matavimo prietaisų, turi galimybę tiksliau priimti tinkamus sprendimus kokius ruožus ir kokiais kiekiais barstyti, taip pat apie būtinybę atlikti kitus priežiūros darbus.

Sniego valymas yra pagrindinė priemonė pašalinti sniegui keliuose. Patobulėjusios technologijos leidžia sutaupyti daug energijos, reikalingos sniego ar ledo pašalinimui. Daugelis užsienio šalių naudoja panašią įrangą ir mechanizmus, kaip ir Lietuvoje: sunkvežimiai su verstuvais, rotoriniai valytuvai ir pakrovėjai ir kiti. Populiariausi valytuvai yra vienakrypčiai automobilio priekyje, reversiniai, po mašina esantys valytuvai ir panašiai. Kai kuriuose mechanizmuose hidraulikos pagalba gali būti reguliuojama valytuvo pusė ar valytuvo plotis.

Viena iš naujesnių, inovatyvesnių technologijų žiemos kelių priežiūroje yra skystos tirpinimo medžiagos, kai kietos cheminės medžiagos yra ištirpinamos

skystyje ir tuo skysčiu padengiamas kelias. Suskystintos cheminės medžiagos naudojamos tiek ledo tirpinimui, tiek prevencijai. Suskystintų medžiagų pranašumas prieš barstomas druskas yra toks, kad druskos dažnai būna nusviedžiamos iš po automobilio ratų į šalikeles, todėl norint užtikrinti gerą kelio priežiūros lygį, reikia daugiau negu dvigubo kiekio cheminių medžiagų, negu kad reikėtų purškiant skystas tirpdymo medžiagas. Taip pat skystos medžiagos tirpina sniegą/ledą prie žemesnių temperatūrų negu druskos. Sniego ir ledo tirpinimui užsienio šalyse naudojami druskų tirpalai, ir speciali technika skirta išpurkšti skystą druskos tirpalą ant kelio dangos.

Pirmieji Lietuvoje skysčio išpurškimo ant kelio dangos bandymai slidumui mažinti buvo atlikti 2013 metų žiemos sezono metu Vilniaus regione. Skysčio išpurškimas buvo atliekamas penkiuose kelių ruožuose. Skystis buvo išpurškstas viename magistraliniame, viename krašto ir trejuose rajoniniuose kelių ruožuose. Visi kelio ruožai skiriasi vienas nuo kito savo pločiu, kelio eismo juostų skaičiumi, vidutiniu metiniu paros eismo intensyvumu. Ieškodami efektyvių technologijų kelių priežiūrai žiemos metu VI „Vilniaus regiono keliai“ specialistai 2013 metų žiemos sezonu savo prižiūrimo kelio ruože praktiškai išbandė skysčio išpurškimą ant kelio dangos technologiją. Intensyviuose magistraliniuose ir krašto keliuose technologija pilnai pasiteisino tirpdant iki 3 cm sniego ir ledo dangą ir oro temperatūrai iki -6°C . O žemo intensyvumo mažiau nei 500 aut./parą ir esant storesnei nei 3 cm sniego ir ledo sluoksniui efektas buvo ribotas. Nes reikėjo pakartotinai kelią apdoroti.

Ledo susidarymo prevencija apibūdinama kaip tam tikrų priemonių visuma, neleidžianti susidaryti ledui. Cheminėmis medžiagomis slopinamas užšalimo taškas. Ypatingai problema pasunkėja esant pūgoms, lijundroms ir pan. Visa kelių priežiūra yra priklausoma nuo finansavimo, todėl JAV buvo padaryti efektyvumo tyrimai, kurie parodė, kad ledo susidarymo prevencijos taikymas yra daug labiau atsiperkanti priemonė, negu kad atitirpinimas ir kiti tradiciniai metodai. Penkis kartus daugiau energijos išnaudojama ledui ir sniegui pašalinti kai ryšiai tarp ledo ir dangos jau yra susiformavę. Todėl ledo susidarymo prevencijos taikymas yra labiau efektyvesnė priemonė kovojant su kelio apledėjimu. Ši strategija, kaip ir visos kitos, taip pat turėtų būti taikoma tam tikrose vietose ir atsižvelgus į specifines tos vietovės sąlygas (U.S. Department of Transportation 2008; Andersson, Chapman 2011).

Atitinkamai daugelyje šalių tyrimai, naujų metodų ir metodikų vertinimai, naujų priemonių kūrimas ir einamosios praktikos nagrinėjimas yra dinamiškas atsakymas į kelių tinklo tvarumo palaikymo žiemą iššūkius. Faktiškai skirdama dėmesį šioms aspektams, kiekviena šalis ketina tobulinti transporto sistemų veiklą ir siūlomas paslaugas.

Apibendrinant galima teigti, kad ypač svarbų vaidmenį prižiūrint kelius žiemą atlieka šiuolaikinė technika ir nuolatinis visų eismo dalyvių švietimas. Reikia keisti ir techninio personalo požiūrį į kelių priežiūros problemas. Siekiant kokybiškos kelių priežiūros, turi būti naudojama šiuolaikinė įranga. Optimizuotas ir valymas, bei barstymas druska.

1.7. Kelių priežiūros kokybės gerinimo būdai ir priemonės

Šiuo metu tiek Lietuvoje, tiek užsienio šalyse kelių transporto sektorius susiduria su sudėtinga situacija, kuomet kelių priežiūros finansavimas didinamas nepakankamai, o reikalaujama išlaikyti ne prastesnę nei esamą kelių priežiūros žemą kokybę (1.4 pav.). Todėl tikslinga apžvelgti visus praktikoje žinomus ir ieškoti naujų kelių priežiūros žirmą efektyvinimo būdų, įskaitant modernią kelio parametrų monitoringui atlikti technologinę įrangą, optimalų priežiūros darbų planavimą, naujas priežiūros darbų pirkimo procedūras, darbų planavimą remiantis ne vien struktūriniais ir ekonominiais, bet taip pat ir aplinkosauginiais bei socialiniais naudos ir kaštų skaičiavimais (Parkman *et al.* 2012).

Europoje ir Šiaurės Amerikoje – šalyse, kurios pirmauja pagal kelių išsivystymo lygį, tokie veiksniai, kaip didelis automobilių eismo intensyvumas, aukšta keleivių ir krovinių pervežimo kaina bei kelio naudotojų patiriamos išlaidos ir ribotas kelių priežiūros biudžetas diktuoja aukšto lygio kelių projektavimo, tiesimo ir eksploatacijos standartus. Esant kelių tūkstančių automobilių per parą eismo intensyvumui, net viena minutė sutaupyto kelionės laiko gali padengti to kelio remonto ar net rekonstrukcijos kaštus (Paterson 1987). Tačiau, netgi palyginti turtingose šalyse biudžetas yra griežtai ribojamas. Tai verčia ekonomiškai planuoti kelių tinklo priežiūrą ir plėtrą, teisingai įvertinti ekonominius prioritetus – taip, kad planuojama veikla duotų didžiausią naudą pačiam kelių ūkiui ir visuomenei.

Nacionalinėse kelių direkcijose gali būti išskiriami pagrindiniai tikslai/įtakojantys faktoriai, kurie turi didžiausią poveikį kelių infrastruktūros turto valdymui:

- kelių priežiūros darbams išleidžiamų lėšų minimizavimas ir optimalus mokesčių mokėtojų pinigų panaudojimas;
- optimalus ir ekonomiškas kelių priežiūrai skiriamų investicijų įsisavinimas/realizavimas bei efektyvus laisvų lėšų panaudojimas;
- vengimas be reikalingo tų pačių kelių priežiūros darbų pakartojimo;
- neigiamo poveikio išorei mažinimas;
- eismo saugumo situacijos gerinimas;
- vengimas dažnų ir pasikartojančių kelio uždarymų, pasiekiamumo didinimas ir naudotojų išlaidų mažinimas.

Pastaraisiais metais pastebima tendencija kaip kelių tinklo infrastruktūros turto valdymo modelis keičiasi iš tradicinio būklės parametrais (angl. *condition-based*) paremto metodo į kelio naudotojų aptarnavimu (angl. *service-based*) paremtą metodą. Kelio naudotojų aptarnavimo metodas grindžiamas kelio naudotojo poreikių tenkinimu, t. y. eismo saugumo užtikrinimas, kelionės patikimumas, komfortas, mažas poveikis aplinkai ir panašiai. Kai kurios nacionalinės kelių direkcijos (pvz.: Olandijos) priima infrastruktūros valdymo ir priežiūros sprendimus, pagrįstus kelio naudotojų aptarnavimo lygį nusakančiais vertinamaisiais kriterijais (angl. *performance indicators*): patikimumas, prieinamumas, nenutrūkstamumas, eismo sauga, saugumas, sveikata, aplinkosauga, ekonomika ir politika.

Pastebėtina, kad užsienio šalyse infrastruktūros turto valdymas ir priežiūra dažnai yra vykdomi ir pagal *performance-based* koncepciją, kuomet kelio savininkas rangovui atsiskaito už kelio priežiūros paslaugas ne pagal atliktus darbų kiekius, bet pagal kokybinius rodiklius. *Performance-based* koncepcijos naudojimas iki šiol dažniausiai buvo taikomas tipiniams kokybiniais kelio parametrams (IRI, duobės, plyšiai, rato sukibimas su danga, kelio ženklų ir horizontalaus ženklinimo atspindimumas, drenažo sistemos ir t. t.), tačiau paskutiniu metu vis didesnis dėmesys pradedamas skirti socialiniams, aplinkosauginiams, integralumo ir pasiekiamumo reikalavimams. Nors eismo sąlygos skirtinguose kelio ruožuose skiriasi, todėl skirtingi parametrų rinkiniai gali įvertinti minimalią kelio priežiūros kainą, įvertinant kelio priežiūros darbus bei vairuotojų patiriamas išlaidas (Zietlow 2004).

Nuolatos rinkoje pasirodo alternatyvios medžiagos NaCl chloridų druskoms, tai silvinitai, kalio chloridas, $MgCl_2$, karbamidas, kalio acetatas, kalcio nitratas, amonio hidrofosfatas ir kiti komerciniai organiniai ir neorganiniai cheminiai mišiniai, deklaruojantys kelis kartus didesnę efektyvumą sniego ir ledo tirpdimui, o taip pat mažesnę kenksmingą poveikį aplinkai bei žmogui (Jonušienė 2000). Todėl būtina parengti metodiką ir atlikti laboratorinius ir natūrinius (kelyje) cheminių medžiagų efektyvumo tyrimus, nustatant optimaliausias medžiagas Lietuvos klimatinėms ir eismo sąlygoms.

Kelių priežiūroje žiemą pagrindinius kaštus sudaro važiuojamosios kelio dangos priežiūros darbai (sniego valymas ir slidžios dangos barstymas cheminėmis bei frikinėmis medžiagomis). Pats svarbiausias priežiūros kokybės matas yra laikas ir operatyvumas t. y. kuo greičiau nustatomos pavojingos važiavimo sąlygos ir kuo operatyviau į jas sureaguojama (pritaikomos priemonės), bei kuo efektyviau šios priemonės suveikia tuo mažesnės visuomenės patiriamos išlaidos. Todėl būtina nuolat ieškoti būdų, kaip optimizuoti turimus kelių priežiūros resursus, pasitelkiant naujausias šiuolaikines technologijas ir naudojant efektyviausias slidumą kelyje mažinančias medžiagas maksimaliai sutrumpinant nepalankias ir pavojingas (apledėjusios ir apsnigtos) kelio dangos trukmę. Šiuolaikinės

technologijos ir naudojamos medžiagos jau šiandieną gali suteikti galimybę praktiškai išvengti kelio dangos apledėjimo, pritaikius apsaugos nuo apledėjimo strategiją (angl. *anti-icing*). Tačiau šios strategijos efektyviam taikymui, būtina turėti patikimas sprendimų paramos sistemas (Andersson, Chapman 2011; Nixon 2002; Giuliani *et al.* 2012).

Dalyje JAV valstijų Federalinė kelių administracija vykdo priežiūros sprendimų palaikymo sistemos (angl. *Maintenance Decision Support System (MDSS)*) programą. Ši sistema turi sukurtą kelio dangos apledėjimo prognozavimo metodiką, kelių oro sąlygų stočių tinklą, vaizdo kameras, informavimo priemonės (Goodwin 2003; Maze *et al.* 2006).

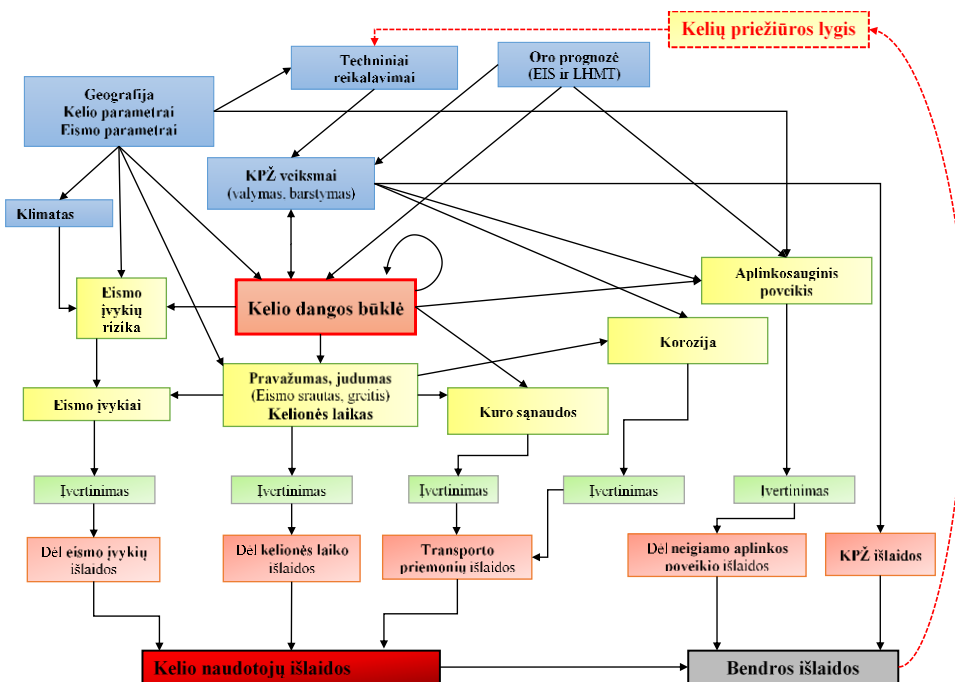
Didelę reikšmę turi ekonominis kelių oro sąlygų informacinės sistemos (Lietuvoje EIS) efektas. Atliekant valymo darbus, taip pat beriant druską ar smėlį, konkrečių ruožų išskyrimas gali duoti didelę ekonominę naudą (Surgue *et al.* 1983). JAV ir Europos šalyse paskaičiuota, kad apledėjimo prognozės sistema, apimanti temperatūros grafikų sudarymą ir maršrutų barstymo optimizavimą, šalčiuoju metu periodu sutaupo apie 20 % lėšų skirtų kelių priežiūrai (Thornes 1989; Hanbali 1994). Informacijos panaudojimas kelių priežiūros tarnybų darbe ir ekonominė nauda įgyvendinant ilgalaikes strategijas nagrinėjama įvairiuose priežiūros sprendimų palaikymo sistemų projektuose (Nixon, Stowe 2004). Kitas didelis projektas – Strateginė greitkelių tyrimo programa (angl. *Strategic Highway Research Program (SHRP)*) – JAV ir Kanadoje sprendžia panašius uždavinius. Vertinama kelių oro sąlygų informacinės sistemos ekonominė nauda atskirose valstijose ir per ateinančius 20 metų planuojama sutaupyti iki 3,5 mlrd. JAV dolerių (Economic benefit... 1997; Boselly 2001; Fay *et al.* 2010).

Kelių infrastruktūros turto valdymas kaip svarbiausia posistemė apima ir dangų valdymo sistemas, ir kelių priežiūros, ir nuolatinio stebėjimo, ir planavimo darbus (Sugrue *et al.* 1983; Ye *et al.* 2009). Kad kelių infrastruktūros turto valdymas būtų efektyvesnis, yra svarbu optimizuoti kiekvieną sritį bei jas tarpusavyje suderinti. Efektyvesnei kelių priežiūrai vykdyti, turi būti nuolat renkami duomenys apie kelio infrastruktūros parametrų būklę ir jų įtaką išoriniams aspektams, bei suvedami į ilgametę duomenų bazę, kurios pagrindu būtų galima sukurti kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelį. Priežiūros lygis svarbus žiemos darbų atlikimo tvarkai, bei reikalavimams apibrėžti. Pagal nustatytą priežiūros lygį, reguliuojama kiek ir kokių priemonių reikia imtis keliui prižiūrėti žiemos metu. Lietuvos valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygiai žiemą parenkami neįvertinant visų visuomenės poreikį lemiančių veiksnių, be to kasmet priežiūros kokybę pagrinde apibrėžia ribotas ir dažnai nepakankamas skiriamas finansavimas. 2010 metais VĮ Transporto ir kelių tyrimo instituto atliktoje studijoje „Valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygių optimizavimo priemonių analizė ir pasiūlymų parengimas“ nustatyta, kad visam valstybinių kelių tinklui optimaliai prižiūrėti reikia 568,9 mln. Lt (164,7 mln. Eur). Apskaičiuota suma užtikrintų vykdyti bedefektingą

kelių priežiūrą. Tačiau realus finansavimas nesiekia nei pusės nustatyto (pvz. 2010 m. kelių priežiūrai skirti tik 243 mln. Lt arba 70,4 mln. Eur). 2010 metais apskaičiuoti kelio naudotojų patiriami nuostoliai dėl nepakankamo finansavimo žiemą siekė 116,2 mln. Lt (33,6 mln. Eur), vasarą – 187,8 mln. Lt (54,4 mln. Eur), iš viso beveik 89 mln. Eur (VĮ Kelių... 2011)

Pasiūlytas modelis padėtų ekonomiškai pagrįsti lėšų poreikį, pateikiant ekonominę naudą per sumažėjusias kelio naudotojų išlaidas (eismo įvykiai, kelionės trukmė, kuro sąnaudos ir poveikis aplinkai), bei leistų nuolatos gerinti atliekamų darbų kokybę.

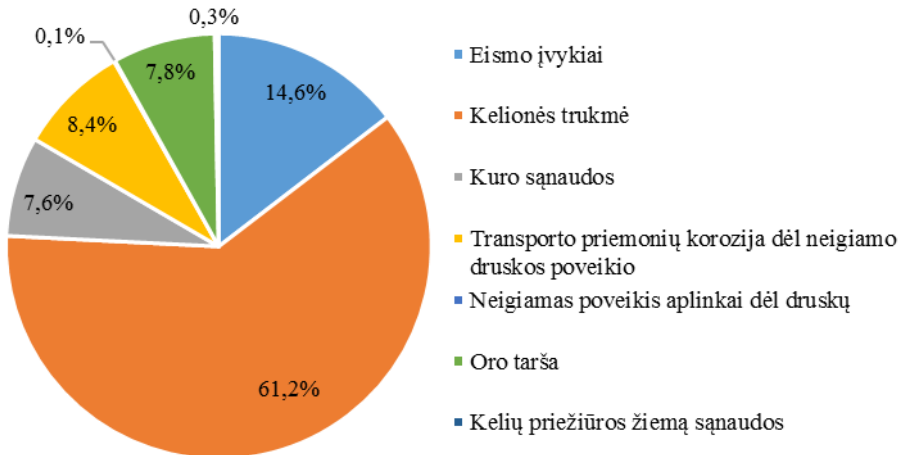
Panašus modelis yra sukurtas Švedijoje, Kelių tyrimo instituto (VTI) bendradarbiaujant su Švedijos kelių direkcija. Tai unikalus įrankis leidžiantis sukurti ekonomiškai pagrįstą priežiūros žiemą strategiją, parenkant kelių priežiūros lygius duodančius didžiausią ekonominę naudą visuomenei (Berglund 2008; Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Blomqvist 2006; Wallman 2004) (1.11 pav.).



1.11 pav. Švedijos kelių priežiūros žiemą modelio struktūrinė schema (Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Wallman 2004)

Fig. 1.11. Swedish winter road maintenance model flow chart (Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Wallman 2004)

Modelis skaičiuoja ir įvertina socialinius ekonominius veiksnius, susijusias su įvairiais kelių priežiūros žiemą lygių paskirstymo variantais, atsižvelgiant tiesiogines išlaidas eismo dalyviams ir bendrą ekonominę naudą visuomenei. Šį modelį sudaro penkios tarpusavyje susiję dalys (Saugaus eismo, Mobilumo, Transporto priemonių eksploatacinių, Aplinkosauginių ir Kelių priežiūros sąnaudų vertinimo modeliai), kurių pagrindą sudaro Važiuojamosios kelio dangos būklės modelis. Šio modelio kūrimas truko daugiau kaip 15 metų ir tik 2015 metų pabaigoje jis buvo praktiškai pritaikytas Švedijos kelių tinklui. Pagrindinis Švediško modelio trūkumas yra jo pritaikymas kitose šalyse, kadangi jis yra sukurtas konkrečiai Švedijos kelių tinklui. Tačiau pagrindiniai principai ir nustatyti svarbiausi socialiniai ekonominiai veiksniai (turintys didžiausią įtaką) kelio naudotojų tiesioginėms išlaidoms galėtų būti panaudoti kuriant Lietuvos kelių tinklui ir važiavimo sąlygoms pritaikytą priežiūros žiemą lygių vertinimo modelį (1.12 pav.).



1.12 pav. Švedijos kelių priežiūros žiemą modelyje nustatyti socialiniai ekonominiai veiksniai (Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Wallman 2004)

Fig. 1.12. Social and economic factors identified in the Swedish winter road maintenance model (Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Wallman 2004)

1.12 paveiksle matome, kad daugiau nei 60 % nuo visų patiriamų visuomenės išlaidų sudaro kaštai susiję su kelionės trukme, beveik 15 % sudaro eismo įvykių nuostoliai, likusių socialinių ekonominių veiksnių kaštai nesiekia 10 %, o kelių priežiūros žiemą kaštai tesudaro iki 0,5 %. Iš to galima daryti išvadą, kad šiai dienai patys svarbiausi socialiniai ekonominiai veiksniai yra kelionės trukmė ir eismo įvykiai, kurie kartu sudaro daugiau nei 75 % visų patiriamų visuomenės išlaidų Švedijoje.

Apibendrinant kelių infrastruktūros turto valdymo ir kelių priežiūros praktiką skirtingose šalyse ir kokybės gerinimo galimybes, galima pažymėti, kad nors atskirų šalių kelių infrastruktūros valdymui ir kelių priežiūrai taikomos sistemos, modeliai ir procedūros skiriasi dėl savo detalumo, kompleksiško ir pritaikymo specifiniams šalies kelių tinklo aspektams, tačiau bendruoju požiūriu siektinas tikslas yra tas pats – užtikrinti ilgalaikį, ekonomiškai efektyvų, socialinius ir aplinkosauginius poreikius tenkinantį kelių infrastruktūros funkcionavimą.

Vis labiau ryškėjant socialiniams ir aplinkosauginiams kelio infrastruktūros reikalavimams, o taip pat esant labai apribotam kelių priežiūros finansavimui būtina parenkant kelių priežiūros lygius įvertinti socialinius, ekonominius aspektus. Iš atliktos mokslo darbų kelių priežiūrai žiemą kokybei gerinti analizės galima teigti, kad didžiausią ekonominę naudą įtakoja važiuojamosios kelio dangos būklė žiemą. Būtent šio kelio elemento priežiūrai naudojamos technologijos ir medžiagos, bei nustatyti reikalavimai (optimalus priežiūros lygių parinkimas kelių tinkle) turi didžiausią priežiūros kokybės gerinimo potencialą. Kadangi Lietuvoje naudojamos technologijos yra panašios, kaip užsienio šalyse, todėl daug tikslingiau ištyti alternatyvių medžiagų efektyvumą ir tinkamumą Lietuvos sąlygoms (palyginant jas su tradicinėmis druskomis), o svarbiausia sukurti įrankį galintį įvertinti taikomų priežiūros priemonių (dangos valymo ir barstymo) kokybę, bei duodamą ekonominę naudą kelio naudotojams.

Šios disertacijos pagrindinis tikslas yra sudaryti priežiūros lygių vertinimo modelį ir jį pritaikyti Lietuvos valstybinės reikšmės kelių tinklui, bei jo pagrindu pasiūlyti ekonomiškai pagrįstą priežiūros žiemą strategiją.

Šiuo tikslu būtina sukurti efektyvią kelių priežiūros žiemą kokybės vertinimo sistemą, sudarant taikomų priežiūros lygių vertinimo modelį ir pasiūlant ekonomiškai pagrįstą priežiūros žiemą strategiją Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose.

1.8. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Nepalankios meteorologinės eismo važiavimo sąlygos žiemą daro įtaką transporto priemonių važiavimo greičiui. Vidutinis transporto priemonių važiavimo greitis esant kelio dangos apledėjimui sumažėja apie 5–10 %, o esant itin gausiam snygiui važiavimo greitis gali sumažėti net iki 50 %. Dėl to atitinkamai blogėja važiavimo kokybė ir ilgėja kelionės laikas, kas tiesiogiai įtakoja kelių naudotojų patiriamus nuostolius.
2. Išanalizavus Lietuvos ir užsienio šalių patirtį nustatyta, kad padidinus kelių priežiūros žiemą kokybę vienu priežiūros lygiu pagrindiniuose šalies keliuose (Lietuvoje atitinkamai magistraliniai ir krašto keliai) eismo įvykių rizika sumažėja iki 12 %, o sumažinus vienu lygiu rizika atitinkamai

padidėja. Tačiau minėtos tendencijos rajoninės reikšmės keliuose yra kitokios. Šiuose keliuose nustatytas priešingas efektas – taikant aukštesnį kelių priežiūros žiemą lygį eismo įvykių rizika išauga iki 20 %. Kelių priežiūra užtikrina geresnes eismo sąlygas žiemą, sumažina eismo įvykių riziką ir su tuo susijusius visuomenės patiriamus nuostolius.

3. Išanalizavus 9 išsivysčiusių pasaulio šalių kelių priežiūros žiemą valdymo patirtį nustatyta, kad daugumoje jų taikomi bent trys kelių priežiūros žiemą lygiai (I – aukštas lygis, II – vidutinis lygis, III – žemas lygis). Kiekvienas priežiūros lygis numato skirtingą kelio priežiūrą, dažniausiai remiantis eismo intensyvumu ir kelio kategorija.
4. Skandinavijos šalys plačiai naudoja atsparumo slydimui kriterijų – sukibimo koeficientą, kuris taikomas atliekant kelių priežiūros žiemą kontrolę. Kelio dangos sukibimo koeficientas (angl. *friction*) yra esminis rodiklis apibūdinantis žiemos kelių priežiūros kokybę valstybiniuose Suomijos, Švedijos ir Norvegijos keliuose.
5. Lietuvoje automobilių kelių priežiūros žiemą kokybę lemia ribotas finansavimas, kelių priežiūros žiemą lygiai parenkami neįvertinant visų visuomenės poreikį lemiančių veiksnių. Todėl tikslinga sukurti kelių priežiūros žiemą kokybės vertinimo sistemą, kuri padėtų ekonomiškai pagrįsti lėšų poreikį ir optimizuotų kelių priežiūros žiemą lygių taikymą.

Išanalizavus Lietuvos ir užsienio šalių mokslinę literatūrą, galima daryti išvadą, kad siekiant sudaryti kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelį būtina išspręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti kelių priežiūrai žiemą naudojamų medžiagų eksperimentinius tyrimus ir vertinimą;
2. Sudaryti optimalių valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygių žiemą vertinimo modelį atskiroms kelių grupėms;
3. Pritaikyti sudarytą priežiūros lygių žiemą vertinimo modelį Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose ir atlikti ekonominį vertinimą;
4. Pasiūlyti Lietuvos valstybinės reikšmės kelių priežiūros žiemą strategiją, optimizuojančią kelių naudotojų ir priežiūros poreikius.

Kelių priežiūros žiemą eksperimentiniai tyrimai ir rezultatų analizė

Antrajame skyriuje pateikti slidumą kelyje žiemą mažinančių cheminių medžiagų laboratoriniai ir lauko tyrimų rezultatai.

Remiantis sudaryta slidumą kelyje mažinančių medžiagų (SMM) tyrimų metodika laboratorijoje buvo ištirtos penkios SMM ir nustatytas šių medžiagų poveikis sukibimo koeficientui ir efektyvumas tirpinant ledą prie skirtingų aplinkos temperatūrų, bei skirtingais matavimo intervalais. Įvertinus laboratorinių tyrimų rezultatus sudaryta metodika ir atlikti trijų SMM eksperimentiniai tyrimai įrengtuose bandomuosiuose ruožuose kelyje (107 Trakai–Vievis ir A16 Vilnius–Trakai) esant skirtingoms aplinkos sąlygoms (aplinkos, oro, dangos temperatūrai, transporto intensyvumui) ir sniego, ledo dangos storiui. Skyriaus pabaigoje pateikti apibendrinti atlikto eksperimentinio tyrimo rezultatai, bei rekomendacijos tinkamiausių automobilių kelių eismo ir oro sąlygoms SMM naudojimui Lietuvoje.

Skyriaus tematika paskelbti du autoriaus straipsniai: Ratkevičius *et al.* (2014), Laurinavičius *et al.* (2016).

2.1. Kelių priežiūros žiemą medžiagų efektyvumo tyrimai laboratorijoje ir bandomuosiuose kelių ruožuose

Lietuvos automobilių kelių direkcijos duomenimis kasmet šalies valstybinės reikšmės keliuose išbarstoma 60–80 tūkst. tonų techninės druskos (NaCl). Tikslios statistikos, kiek techninės druskos išbarstoma savivaldybių prižiūrimuose keliuose ir gamybinių ar aptarnavimo objektų teritorijose nėra, tačiau šis kiekis gali siekti apie antra tiek, kiek jos panaudojama valstybinės reikšmės keliuose (Kadūnas, Arustienė 2010).

Daugybė mokslinių tyrimų ir KDPŽ praktika visame pasaulyje parodo kokią didelę reikšmę turi SMM naudojimas kelių priežiūroje žiemą. Slidumui mažinti vartojamos chloridų druskos, nepaisant daugelio jų sukiamų neigiamų padarinių, naudojamos dėl jų pigumo, prieinamumo ir efektyvumo. Pirmajame skyriuje atlikta užsienio šalių analizė rodo, kad būtent NaCl praktiškai yra pagrindinė SMM naudojama žiemą slidžioms kelio dangoms barstyti. Tačiau neigiamo poveikio aplinkai pasekmės, o taip pat ir didėjantys KDPŽ reikalavimai nuolat verčia kelius prižiūrinčius specialistus ieškoti efektyvių alternatyvų tradicinei kelio druskai. Alternatyvių SMM paieškos jau kelis dešimtmečius domina mokslininkus, o apie neigiamas druskų sukiamas problemas dažnai diskutuoja ir suinteresuota visuomenė. Pasaulyje užpatentuota įvairiausių medžiagų bei jų mišinių (organinių ir neorganinių), gerai tirpinančių sniegą ir ledą: silvinitas, kalio chloridas, kalio chloridas (CaCl_2), magnio chloridas (MgCl_2), karbamidas, kalio acetatas, kalcio nitratas, amonio hidrofosfatas ir kitos cheminės medžiagos, kurios yra 5–14 kartų brangesnės už NaCl. Dažnai siūlomos alternatyvios SMM deklaruoja kelis kartus didesnę efektyvumą, tačiau iki šiol Lietuvoje nebuvo sukurtos SMM tyrimo metodikos leidžiančios objektyviai įvertinti minėtų SMM efektyvumą, bei palyginti su tradicinėmis druskomis. Todėl būtina sudaryti metodiką leidžiančią įvertinti SMM efektyvumą Lietuvos klimatinėmis ir eismo sąlygomis, kadangi netgi ženkliai didesnė alternatyvių SMM kaina gali atsverti jų teikiama nauda (atliekant naudos ir kaštų analizę).

Sprendžiant kokias SMM ar jų mišinius naudoti, atsižvelgiama į oro temperatūrą. Kadangi techninio NaCl 10 % koncentracijos tirpalas užšąla esant $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, o 29 % – esant $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, panašioje temperatūroje užšąla CaCl_2 bei MgCl_2 . Norint tikslingai panaudoti barstomas medžiagas, skirtas kelių priežiūrai žiemą, būtina žinoti šių medžiagų charakteristikas (Chappelow *et al.* 1992; Mauritis *et al.* 1994; Fay, Shi 2012, 2011; Cuelho, Harwood 2012; Xu *et al.* 2012; Muthumani *et al.* 2014; Klein-Paste, Potapova 2014; Ružinskas *et al.* 2016).

Šiuo tikslu VGTU Kelių tyrimo institutas ir Kelių katedra drauge su AB „Problematika“ 2012–2015 m. atliko „*Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių efektyvios priežiūros žiemą studiją*“, kurioje autorius buvo vienas iš pagrindinių studijos vykdytojų. Vienas pagrindinių šios studijos tikslų buvo SMM efektyvumo tyrimo metodikos sudarymas, leidžiantis vienodomis sąlygomis ištirti alternatyvių SMM efektyvumą Lietuvos kelių oro sąlygomis, bei jų palyginimas su tradicinėmis SMM.

2.2. Eksperimentinio tyrimo planas

Siekiant nustatyti efektyviausias SMM prie Lietuvos kelių oro sąlygų buvo sudarytas eksperimentinio tyrimo planas, kurį sudarė 2 etapai:

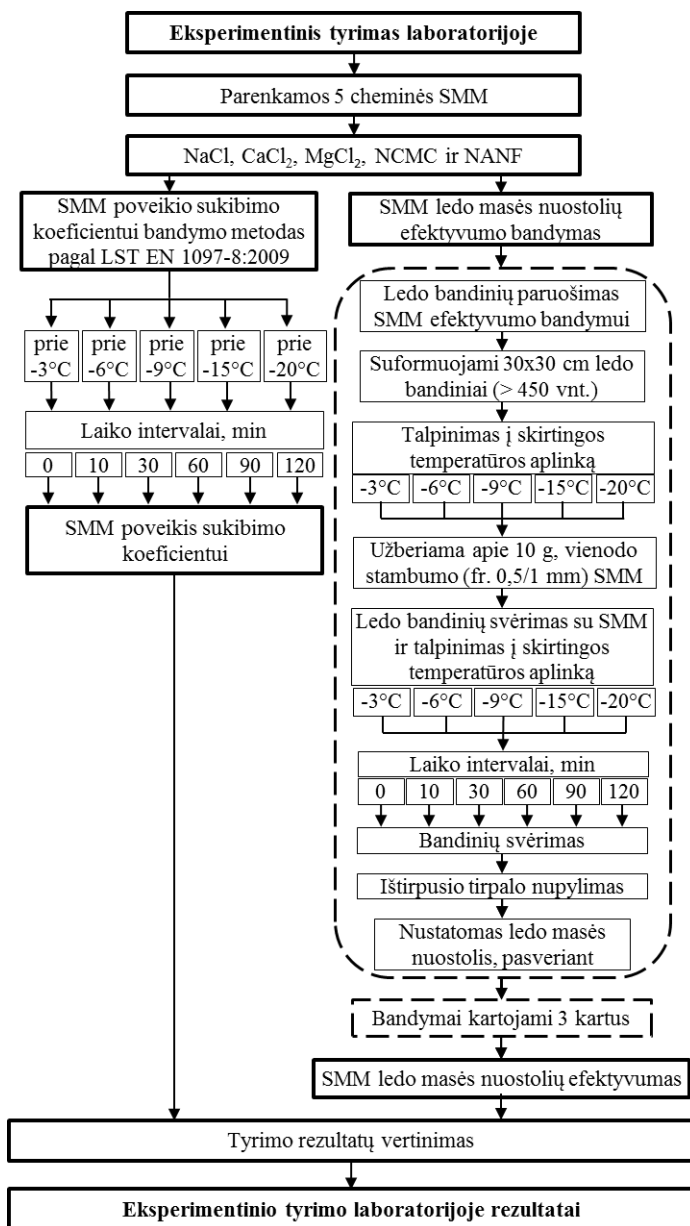
- Eksperimentinis tyrimas laboratorijoje (2.1 pav.).
- Eksperimentinis tyrimas bandomuosiuose ruožuose (2.2 pav.).

Atliekant eksperimentinius tyrimus laboratorijoje, siekiant nustatyti SMM poveikį sukibimo koeficientui ir ledo masės nuostolių efektyvumą, prie skirtingų aplinkos temperatūrų, bei skirtingais matavimo intervalais, buvo parengta metodika, kuri aprašyta 2.3.1 skyrelyje.

Tyrimais laboratorijoje ištirtos penkios skirtingos SMM: NaCl, CaCl₂, MgCl₂, natrio ir kalcio modifikuotų chloridų mišinys (NANF) komerciniu pavadinimu „*Icemelt*“, ir natrio acetato ir natrio formiato mišinys (NCMC) komerciniu pavadinimu „*Nordway*“.

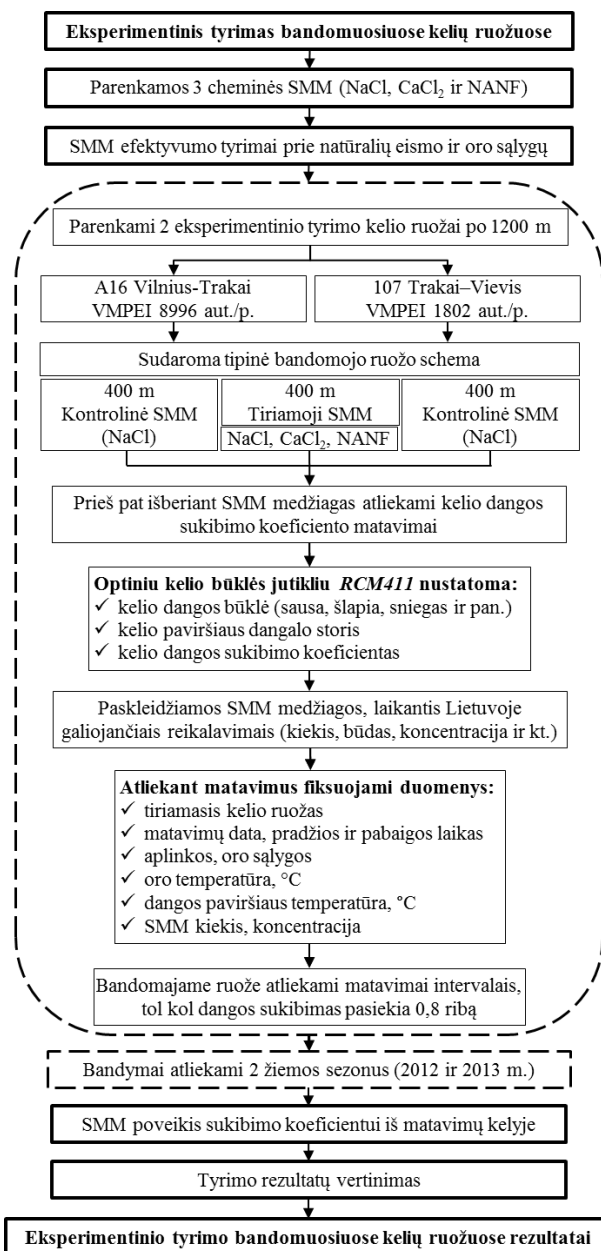
Atliekant eksperimentinius tyrimus bandomuosiuose ruožuose, buvo parinkti du skirtingi eismo intensyvumo bandomieji kelių ruožai ir parengta metodika (aprašyta 3.4.1 skyrelyje), siekiant nustatyti SMM efektyvumą, išmatuojant dangos sukibimo koeficientą ir vandens ant kelio dangos sluoksnio storį, prie skirtingų aplinkos bei TP eismo sąlygų. Atliekant šį eksperimentą nuspręsta panaudoti mobilių, matavimams pritaikytą, optinį sukibimo koeficiento matavimo įrenginį „*RCM411*“ (2.7 pav.) (Malmivuo 2011). „*RCM411*“ įrenginys prie transporto priemonės gali būti tvirtinamas trimis būdais: automobilio priekyje, gale ir tarp priekinių ir galinių ratų, tačiau pastarasis tinka tik didesnėms transporto priemonėms. Tiek montuojant ant standartinės vilkties jungties gale, tiek nestandartinėse vietose (automobilio priekyje ar šone) atstumas nuo jutiklio apačios iki kelio dangos paviršiaus (matuojant numatytu pasvirimo kampu) turi būti 50 ± 5 cm, o pasvirimo kampas 20° (Problematika 2012).

Pagal Suomijos Transporto Agentūros atliktą įvairių slidumo matuoklių palyginimo tyrimą (Malmivuo 2011), „*RCM411*“ buvo pripažintas pačiu geriausiu ir tinkamiausiu kelio sukibimo koeficiento matavimui. Teisingai interpretuojant gaunamus rezultatus, šis prietaisas gali palengvinti kelių priežiūros darbus žiemą.



2.1 pav. Eksperimentinio tyrimo laboratorijoje planas (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.1. Laboratory-based experimental research plan (compiled by the author)



2.2 pav. Eksperimentinio tyrimo bandomuosiuose kelių ruožuose planas
(sudaryta autoriaus)

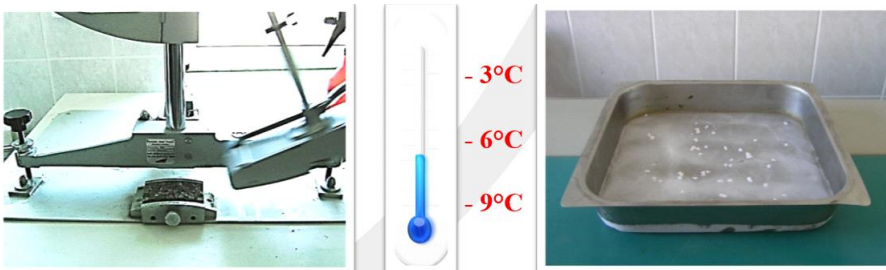
Fig. 2.2. Plan of experimental research on trial road sections
(compiled by the author)

Tyrimuose bandomuosiuose ruožuose atlikti matavimai su NaCl chloridu NaCl, kalcio chloridu CaCl_2 ir natrio acetato, natrio formiato mišiniu NCMC.

2.3. Kelių priežiūros žiemą naudojamų cheminių medžiagų efektyvumo tyrimai laboratorijoje

2.3.1. Eksperimentinių tyrimų laboratorijoje metodika

Pasirinktais dviem metodais (poveikio sukibimo koeficientui ir ledo tirpinimo efektyvumo bandymai) laboratorijoje ištirtos 3 tradicinės SMM (NaCl , CaCl_2 ir MgCl_2) ir 2 alternatyvios, mažiau aplinką veikiančios SMM (NANF ir NCMC), prie skirtingų aplinkos temperatūrų, bei skirtingais matavimo intervalais (2.3 pav.).



2.3 pav. Kelių priežiūrai žiemą naudojamų medžiagų tyrimo metodai laboratorijoje (VGTU... 2015)

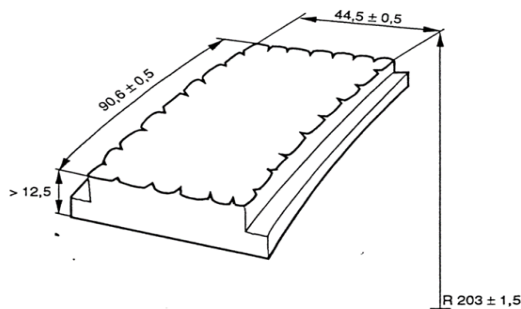
Fig. 2.3. Laboratory-based research methods for winter road maintenance materials (VGTU... 2015)

Kelių priežiūros žiemą medžiagų poveikio sukibimo koeficientui bandymo metodas

Bandymui ruošiami granito skaldos tiriamieji bandiniai ir nustatomos jų sukibimo koeficiento reikšmės pagal *LST EN 1097-8:2009 „Bandymai užpildų mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti. 8 dalis. Akmens poliruojamumo nustatymas“* standarte nurodytus bandymo metodus. Ant paruoštų tiriamųjų bandinių suformuojamas vienodas ledo sluoksnio storis. Skirtingoje temperatūroje laikomus tiriamuosius bandinius paveikus SMM matuojamas sukibimo koeficiento reikšmės pokytis.

Bandymo eiga (2.1 pav.):

1. Pagal LST EN 1097–8:2009 standarte nurodytus reikalavimus bandymui paruošti granito skaldos tiriamieji bandiniai. Tiriamojo bandinio schema pavaizduota 2.4 paveiksle. Kiekvienai SMM paruošta po 3 bandinius.



2.4 pav. Tiriamasis bandinys (matmenys nurodyti mm) (VGTU... 2015)

Fig. 2.4. Research sample (dimensions indicated in mm) (VGTU... 2015)

2. Pagal LST EN 1097–8:2009 standarte nurodytus reikalavimus nustatyta paruoštų bandinių sukibimo koeficiento reikšmė (kiekvienam tiriamajam bandiniui atlikti 5 matavimai, užrašomas paskutinių trijų matavimų vidurkis). Patalpos temperatūra bandymo metu 20 °C.

3. Matavimai atlikti sukibimo koeficiento reikšmės nustatymo įrenginiu patektu LST EN 1097–8:2009 standarte.

4. Ant tiriamųjų bandinių suformuotas vienodas ledo sluoksnis. Suformuoto ledo masė apie 5 g.

5. Bandiniai laikyti klimatinėje kameroje kol ledo paviršiaus temperatūra pasiekia reikiamą reikšmę.

6. Pasiekus reikiamą temperatūrą nustatyta bandinių su ledo sluoksniu sukibimo koeficiento reikšmė.

7. Medžiagos prasijojamos per 1 mm ir 0,5 mm akučių dydžio sietus. Bandymui panaudotos per 1 mm akučių sieta prabyrėjusi bet ant 0,5 mm akučių sieto likusios medžiagų dalelės.

8. Ant ledo paviršiaus užbertas vienodas kiekis (apie 0,5 g) vienodo stambumo (fr. 0,5/1 mm) tiriamos SMM.

9. Bandiniai su užberta SMM, esant (–3 °C, –6 °C, –9 °C, –15 °C, –20 °C) temperatūrai, klimatinėje kameroje išlaikyti skirtingą, iš anksto nustatytą, laiko tarpą (0, 10, 30, 60, 90, 120 min.).

10. Išlaikytiems reikiamą laiką (0, 10, 30, 60, 90, 120 min.) tiriamiesiems bandiniams nustatyta sukibimo koeficiento reikšmė po tiriamos SMM poveikio.

11. Visos tiriamos SMM išbandytos vienodomis, aukščiau aprašytomis, sąlygomis.

Kelių priežiūros žiemą vienodo stambumo medžiagų efektyvumo bandymo metodas

SMM efektyvumo bandymui paruošti vienodo storio ir ploto ledo bandiniai. Į vienodus nerūdijančio plieno padėklus (30×30 cm) įpiltas vienodas kiekis vandens kuris užšaldomas ir laikomas klimatinėje kameroje, kol pasiekama reikiama ledo paviršiaus temperatūra.

Apskaičiuota nutirpdyto ledo masė ir ledo masės procentinis pokytis, paveikus vienodo stambumo SMM.

Bandymo eiga (2.1 pav.):

1. Nustatoma sausų padėklų masė 0,1 g tikslumu.
2. Į nerūdijančio plieno padėklus įpilamas reikiamas vandens kiekis, kad suformuotų 3 mm ledo sluoksnis (apie 266 g). Padėklai su vandeniu šaldomi klimatinėje kameroje kol susiformuoja ledas.
3. Susiformavus ledui padėklai su ledu pasveriami 0,1 g tikslumu, apskaičiuojama ledo masė.
4. Bandiniai, reikiamoje tyrimui temperatūroje, laikomi klimatinėje kameroje. Padėklai su ledo bandiniu laikomi tol, kol ledo paviršiaus temperatūra pasiekia nustatytą reikšmę (–3 °C, –6 °C, –9 °C, –15 °C, –20 °C).
5. Tiriamą SMM prasijojama per 1 mm ir 0,5 mm akučių dydžio sietus. Bandymui panaudojamos per 1 mm akučių sieta prabyrėjusi bet ant 0,5 mm akučių sieto likusios SMM dalelės.
6. Pasiekus reikiamą temperatūrą ant ledo paviršiaus užberiamas vienodas, apie 10 g, vienodo stambumo (fr. 0,5/1 mm) tiriamos SMM kiekis.
7. Ledo bandiniai, su užberta SMM, klimatinėje kameroje išlaikomi skirtingą, iš anksto nustatytą, laiko intervalą (4, 10, 20, 30, 60, 120 min.).
8. Po išlaikyto reikiamo laiko intervalo padėklai išimami ir pasveriami 0,1 g tikslumu.
9. Ištirpęs tirpalas nupilamas ir pasveriamas ledo ir medžiagos likutis.
10. Apskaičiuojamas nutirpdyto ledo masė ir ledo masės sumažėjimo procentinis pokytis.

2.3.2. Eksperimentinių tyrimų laboratorijoje rezultatai

SMM poveikio sukibimo koeficientui bandymų laboratorijoje rezultatai

Visos tirtos SMM išbandytos vienodomis, bandymų metodikoje aprašytomis, sąlygomis. Apskaičiuoti tirtų SMM poveikio sukibimo koeficientui bandymų rezultatai. Gauti rezultatai pateikti A priede grafiškai. Grafiukuose pateiktos tiriamųjų bandinių, veikiamų SMM skirtingose aplinkos sąlygose, sukibimo koeficiento reikšmės pokytis laiko atžvilgiu.

Nustatyta bandinių be ledo pradinė sukibimo koeficiento reikšmė priimama kaip 100 %. Ant bandinių užauginus vienodą ledo sluoksnį nustatyta bandinio su ledu reikšmė kinta nuo 20 iki 25 % nuo pradinės reikšmės. Bandiniai kurių ledo sukibimo koeficiento reikšmės viršijo šio intervalo ribas atmesti.

Siekiant nustatyti SMM poveikio sukibimo koeficiento pokyčio ypatumus, esant skirtingoms aplinkos temperatūroms, apskaičiuoti sukibimo koeficiento reikšmės kitimo intervalai, t. y. nustatyta kuriame sukibimo koeficiento reikšmės kitimo intervale SMM veikia sukibimo koeficiento reikšmę ir kaip ji kinta keičiantis aplinkos temperatūrai. Šis rodiklis parodo aplinkos temperatūros įtaką sukibimo koeficiento reikšmės rezultatams. Kuo intervalas didesnis tuo ir temperatūros įtaka didesnė. Galima daryti prielaidą kad jei ledą paveikus SMM sukibimo koeficiento reikšmės kitimo intervalas $<10\%$ į šį intervalą patenkančias sukibimo koeficiento reikšmės kitimo kreives galima sugrupuoti į panašias sukibimo koeficiento reikšmės pokyčio tendencijas turinčias grupes.

Norint SMM suskirstyti pagal jų poveikį sukibimo koeficiento reikšmei priimame efektyvumo sukibimo koeficiento kriterijų (2.1 lentelę). Pagal šį kriterijų galima išsiaiškinti kuri medžiaga geriausiai pagerina sukibimo koeficiento reikšmę esant skirtingoms aplinkos temperatūroms.

2.1 lentelė. SMM poveikio sukibimo koeficiento reikšmei kriterijus

Table 2.1. Criterion of Deicing Materials impact on the friction coefficient value

SMM poveikio sukibimo koeficientui klasės	Sukibimo koeficiento reikšmė, %
Didelio efektyvumo	>80
Vidutinio efektyvumo	60–80
Mažo efektyvumo	50–60
Neefektyvi	<50

Siekiant nustatyti SMM poveikio sukibimo koeficiento reikšmės priklausomybę nuo jos veikimo laiko, priimamas sukibimo koeficiento reikšmės kitimo per tiriamą laiką (120 min.) kriterijus (2.2 lentelę). Atsižvelgiant į medžiagų poveikį sukibimo koeficiento reikšmei dėl jų fizikinių savybių sukibimo koeficiento kitimo grafikus pradėdame nagrinėti po pradinio medžiagos poveikio t. y. praėjus 4 min. po SMM užbėrimo ant ledo. Kiekvienos tirtos medžiagos gauti poveikio sukibimo koeficientui rezultatai pateikti A priede grafiškai (1–5 pav.).

2.2 lentelė. SMM poveikis sukibimo koeficiento reikšmei nuo jos veikimo laiko kriterijai
Table 2.2. Criteria of Deicing Materials impact on the friction coefficient value starting from the time of its effect

SMM poveikio sukibimo koeficiento reikšmės pokyčio klasės	Sukibimo koeficiento reikšmė pokytis, %
Didelio kitimo sukibimo koeficiento reikšmė	>10
Mažo kitimo sukibimo koeficiento reikšmė	5–10
Nekintanti t sukibimo koeficiento reikšmė	<5

Ištirtų SMM poveikio sukibimo koeficiento pokyčio reikšmės priklausomybei nuo jos veikimo laiko rezultatai pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. SMM poveikio sukibimo koeficiento reikšmei nuo jos veikimo laiko bandymo rezultatai

Table 2.3. Testing results of Deicing Materials impact on the friction coefficient value starting from the time of its effect

SMM pavadinimas	SMM veikimo laikas, min	Ledo sukibimo koeficiento reikšmės pokytis, %				
		Šaldymo temperatūra, °C				
		–3	–6	–9	–15	–20
1	2	3	4	5	6	7
Natrio chloridas	10	56	50	45	40	39
	30	2	0	5	2	12
	60	11	10	3	6	7
	90	5	2	10	2	11
	120	6	3	1	3	2
Kalcio chloridas	10	54	52	39	37	23
	30	6	10	4	3	4
	60	1	1	1	1	6
	90	1	4	3	2	5
	120	5	2	4	3	11
Natrio acetato ir natrio formiato mišinys	10	47	45	35	29	29
	30	1	1	2	3	4

2.3 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7
	60	2	7	1	4	0
	90	7	8	1	1	4
	120	1	4	4	0	2
Magnio chloridas	10	33	30	28	22	21
	30	3	1	4	0	4
	60	1	2	0	7	7
	90	6	3	1	6	6
	120	3	2	0	3	3
Natrio ir kalcio modifikuotų chloridų mišinys	10	52	48	44	39	36
	30	5	5	3	1	4
	60	12	5	2	1	5
	90	2	2	0	2	6
	120	1	1	1	1	0

Ištyrus medžiagų poveikį sukibimo koeficiento reikšmei, tirtos SMM suskirstytos į kategorijas esant skirtingai aplinkos temperatūrai:

- Kai aplinkos temperatūra yra ne žemesnė negu $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ NaCl yra labai efektyvus, CaCl_2 , NAF ir NCMC – vidutiniškai efektyvūs.
- MgCl_2 jau prie $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ yra mažai efektyvus, o prie žemesnių temperatūrų tampa visiškai neefektyvus.
- Esant aplinkos temperatūrai žemesnei nei $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ tik NCMC išlieka vidutiniškai efektyvus, visos likusios SMM arba mažai efektyvios, arba visiškai neefektyvios.

Kelių priežiūros žiemą vienodo stambumo SMM efektyvumo bandymų rezultatai

Visos tirtos SMM išbandytos vienodomis, bandymų metodikoje aprašytomis, sąlygomis. Išmatuoti ledo masės nuostoliai, rezultatai išreikšti procentais. Pradinė ledo masė priimta kaip 100 %. Ledo masės nuostolio pokytis ir skirtingų SMM efektyvumas tirpinant ledą esant vienodai aplinkos temperatūrai rezultatai pateikti A priede grafiškai (6–10 pav.).

Siekiant išanalizuoti SMM poveikį ledui buvo parinkti keturi ledo masės nuostolių intervalai kurie suskirstyti į keturias SMM efektyvumo kategorijas. SMM efektyvumo kategorijos pateiktos 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. SMM efektyvumo kategorijos**Table 2.4.** Deicing Materials effectiveness categories

SMM efektyvumo kategorija	Ledo masės nuostoliai, %
Didelio efektyvumo	>30
Vidutinio efektyvumo	20–30
Mažo efektyvumo	5–20
Neefektyvi	<5

Gavus tyrimų rezultatus buvo apskaičiuotas visų tiriamųjų ledo bandinių tirpimo (masės nuostolio pokyčio) intensyvumas (%/min.) veikiant skirtingoms SMM. Analizuojant ledo tirpimo intensyvumą buvo parinktos keturios ledo masės nuostolio pokyčio vertės (%) kurios suskirstytos į keturias SMM efektyvumo kategorijas. Ledo tirpimo intensyvumo kategorijos pateiktos 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. SMM ledo tirpimo intensyvumo kategorijos**Table 2.5.** Deicing Materials ice melting intensity categories

Ledo tirpimo intensyvumo kategorija	Ledo tirpimo intensyvumas, %/min.
Didelio intensyvumo	>2
Vidutinio intensyvumo	1–2
Mažo intensyvumo	0,5–1
Labai mažo intensyvumo	< 0,5

Ledo tirpimo intensyvumo rezultatai pateikti 2.6 lentelėje.

Atlikus SMM efektyvumo bandymus pastebėta, kad nepriklausomai nuo aplinkos temperatūros ir naudojamos SMM, laiko intervale nuo 10 iki 20 min. ledo tirpimo intensyvumas <0,5 %/min.

Ištyrus SMM pagal efektyvumą tirpdant ledą nustatyta, kad aplinkos temperatūrai esant ne žemesnei nei -3°C NaCl, NANF ir NCMC yra didelio efektyvumo, o CaCl_2 ir MgCl_2 – vidutinio efektyvumo. Aplinkos temperatūrai esant -6°C NaCl ir NCMC yra vidutinio efektyvumo, o NANF, CaCl_2 ir MgCl_2 – mažo efektyvumo. Aplinkos temperatūrai esant -9°C visos tirtos SMM – mažo efektyvumo, o prie -15°C ir žemesnių temperatūrų tik CaCl_2 ir MgCl_2 išlaiko mažą ledo tirpymo efektyvumą, visos kitos SMM tampa neefektyvios. Ištyrus SMM pagal efektyvumą tirpdant ledą nustatyta, kad aplinkos temperatūrai esant ne žemesnei nei -3°C NaCl, NANF ir NCMC yra didelio efektyvumo, o CaCl_2 ir MgCl_2 – vidutinio efektyvumo. Aplinkos temperatūrai esant -6°C NaCl ir NCMC yra vi-

dučio efektyvumo, o NaNF , CaCl_2 ir MgCl_2 – mažo efektyvumo. Aplinkos temperatūrai esant $-9\text{ }^\circ\text{C}$ visos tirtos SMM – mažo efektyvumo, o prie $-15\text{ }^\circ\text{C}$ ir žemesnių temperatūrų tik CaCl_2 ir MgCl_2 išlaiko mažą ledo tirpymo efektyvumą, visos kitos SMM tampa neefektyvios.

2.6 lentelė. SMM ledo tirpimo intensyvumo rezultatai

Table 2.6. Deicing Materials ice melting intensity results

SMM pavadinimas	Druskos veikimo laikas, min	Ledo nuotolių pokyčio intensyvumas, %/min				
		Šaldymo temperatūra, $^\circ\text{C}$				
		-3	-6	-9	-15	-20
1	2	3	4	5	6	7
Natrio chloridas	4	1,0	0,5	0,3	0,1	0
	10	1,7	1,0	0,5	0,2	0
	20	0,3	0,2	0	0	0
	30	1,7	0,5	0,4	0,2	0
	60	0,2	0,2	0	0	0
	120	0	0	0	0	0
Kalcio chloridas	4	2,3	2,0	2,0	1,2	0,9
	10	0,9	0,5	0,3	0,1	0,1
	20	0,1	5	0,1	0	0
	30	0,6	0,2	0,3	0	0
	60	0,1	0	0	0	0
	120	0,1	0	0	0	0
Natrio acetato ir natrio formiato mišinys	4	1,4	0,7	0,3	0,1	0
	10	1,2	0,8	0,5	0	0
	20	0,2	0,1	0,3	0	0
	30	1,1	0,5	0,1	0,1	0
	60	0,3	0,2	0	0	0
	120	0,1	0	0	0	0
Magnio chloridas	4	3,1	2,5	2,2	1,7	1,3
	10	0,6	0,4	0,4	0,1	0,2

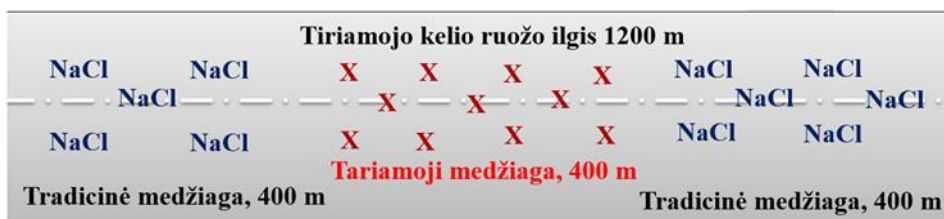
2.6 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7
	20	0,1	0	0,1	0	0
	30	0,4	0	0,1	0	0,1
	60	0,1	0,1	0	0	0
	120	0	0	0	0	0
Natrio ir kalcio modifikuotų chloridų mišinys	4	1,1	0,8	1,0	0,4	0,3
	10	1,1	0,8	0,4	0,2	0,1
	20	0,4	0,4	0	0	0
	30	1,8	0,7	0,3	0,1	0
	60	0,3	0,2	0,1	0	0
	120	0,1	0	0	0	0

2.4. Kelių priežiūros žiemą naudojamų cheminių medžiagų efektyvumo tyrimai bandomuosiuose kelių ruožuose

2.4.1. Eksperimentinių tyrimų bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose metodika

Išanalizavus laboratorijoje gautus rezultatus, atrinktos trys efektyviausios SMM (natrio, kalcio chloridai ir natrio acetato natrio formiato mišinys), kurios papildomai ištirtos prie realių oro ir eismo sąlygų valstybinės reikšmės kelių ruožuose. Matavimai atlikti valstybinės reikšmės keliuose Nr. 107 Trakai–Vievis ir A16 Vilnius–Trakai esant skirtingoms oro temperatūros, kritulių sąlygoms ir dangos (ledo, sniego, šlapio sniego ir pan.) storiui. Pirmajam matavimui kelyje buvo pasirinktas 1200 m ilgio eksperimentinis kelio ruožas, kartu su 400 m ilgio tiriamosiomis atkarpomis (2.5 pav.). Atlikus matavimus gauti matavimų rezultatus parodė, kad beriant medžiagas trumpuose kelio ruožuose medžiagos nuo automobilių ratų tarpusavyje susimaišo, todėl yra pakankamai sudėtinga išskirti tirtų medžiagų poveikį kelio dangalui. Siekiant tiksliau ištirti SMM efektyvumą tiriamos kelio atkarpos prailgintos iki 400 m (bendras tiriamojo kelio ruožo ilgis 1200 m). Eksperimentinio kelio ruožo tiriamos atkarpos nekeičiamos viso eksperimento metu. Tiriamųjų atkarpų tipinė schema pateikta 2.5 paveiksle.



2.5 pav. Eksperimentinio tyrimo bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose tipinė schema

Fig. 2.5. The typical scheme of experimental research on trial road sections

Eksperimento metu, naudojant mobilių, matavimams pritaikytą, optinį sukibimo koeficiento matavimo jutiklį *RCM 411*, kelyje buvo matuojamas dangos sukibimo koeficientas ir vandens ant kelio dangos sluoksnio storis. Kelio dangos sukibimo koeficientas (angl. *friction*) yra esminis rodiklis apibūdinantis žiemos kelių priežiūros kokybę valstybiniuose Suomijos, Švedijos ir Norvegijos keliuose. Sukibimo koeficientas yra absoliutus dydis pagal kurį galima spręsti apie sukibimą tarp kelio dangos ir transporto priemonės ratų.

Sukibimo koeficientas nustatomas naudojant netiesioginį būdą – kelio dangos paviršiaus būklės jutiklį *RCM411*. Tai yra optinis matavimo prietaisas, kuris nustato (Malmivuo 2011):

- a) kelio dangos būklę: sausa, drėgna, šlapia, ledas, sniegas, šlapias sniegas;
- b) kelio dangos paviršiaus dangalo storį;
- c) sukibimo koeficientą.

Prietaisas montuojamas ant TP vilkties (2.6 pav.) (maitinimui naudojama standartinė vilkties jungtis elektros jungtis), atstumas nuo kelio paviršiaus iki jutiklio iki 0,5 m, duomenys fiksuojami kas 1 sekundę.

Duomenys rodomi (linijos spalvos: raudona yra ledas, mėlyna yra vanduo, violetinė yra šlapias sniegas ir balta yra sniegas. Ploniausia linija yra vandens sluoksnio storis mm) ir išsaugomi vartotojo sąsaja mobiliame telefone (2.6 pav.), kitame išmaniajame prietaise arba nešiojamame kompiuteryje:

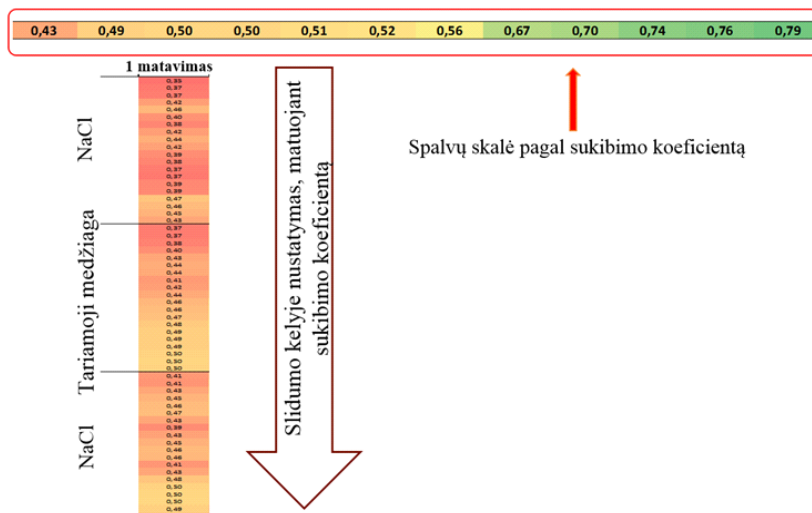
- matavimų rezultatai pateikiami ekrane sutartinėmis spalvomis;
- duomenų perdavimui iš prietaiso Bluetooth pagalba, taip pat gali būti naudojamas ir kabelis;
- perduoti į serverį rezultatai matomi žemėlapyje sutartinėmis spalvomis, taip pat duomenys išsaugomi naudojamo įrenginio vidinėje atmintyje iš kurios vėliau nesunkiai gali būti perkelti į *EXCEL* operacinės sistemos formatus.

RCM411 ir *μTec* veikiant kartu, duomenys iš abiejų atvaizduojami viename ekrane, įrašomi į bylą arba realiu laiku perduoti į nurodytą serverį. Gauti matavimų rezultatai yra konfigūruojami. *RCM411* nuolat fiksuoja kelio dangos dangalą (vandens/sniego/ledo) storį ir sukibimo koeficientą (Wang *et al.* 2004; Nakatasuji *et al.* 2005; Chen *et al.* 2009; Flintsch *et al.* 2009; Rezaei, Masad 2013; Bulevičius *et al.* 2014).



2.6 pav. Sukibimo matavimo jutiklis *RCM411* ant transporto priemonės vilkties (kairėje) ir matavimo duomenų pateikimas mobiliame telefone (VGTU... 2015)

Fig. 2.6. Friction measurement sensor *RCM411* installed on a tow-ball of a vehicle (left-side) and the measurement data presentation on a mobile phone (VGTU... 2015)



2.7 pav. Sukibimo koeficiento matavimo bandomuosiuose kelių ruožuose eiga
Fig. 2.7. The progress of friction coefficient measurements on trial road sections

Tipiniai sukibimo koeficientų variantai (informaciniai):

- sausas kelias $0,80 \pm 0,10$ (priklauso nuo padangų ir kelio paviršiaus būklės);
- kietas ledas 0,20 arba mažiau (galioja visoms padangoms kai yra plonas kieto ledo sluoksniu).

Atliekant matavimus kelyje tradicinės, kelių žiemą priežiūrai naudojamos, ir tiriamosios SMM beriamos laikantis Lietuvoje galiojančių reikalavimų (kiekis, būdas, koncentracija ir kt.). Tiriamosios ir tradicinės SMM išberiamos ant kelio tuo pačiu metu. Prieš pat išberiant abi medžiagas atliekami kelio dangos sukibimo koeficiento matavimai (1 matavimas) naudojant mobilų, matavimams pritaikytą, optinį sukibimo koeficiento matavimo jutiklį *RCM411*. Sukibimo koeficiento matavimai atliekami iškart po tiriamųjų SMM išbėrimo, matavimai tęsiami vienodais laiko intervalais tol, kol medžiagos pilnai suveiks (pasiektas didžiausias sukibimo koeficientas) (2.7 pav.).

Atliekant matavimus kelyje fiksuojami toliau nurodyti duomenys:

- tiriamasis kelio ruožas;
- matavimų data, pradžios ir pabaigos laikas;
- aplinkos, oro sąlygos;
- oro temperatūra, °C;
- dangos paviršiaus temperatūra (kiekviename tiriamajame ruože, skirtingame laiko intervale), °C;
- tiriamosios medžiagos (kiekis, koncentracija ir kt.).

2.4.2. Eksperimentinių tyrimų bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose rezultatai

Atlikus matavimus kelyje pateikiami rezultatai taip, kad būtų galima palyginti tirtų medžiagų efektyvumą pagal sukibimo koeficiento pokytį laiko atžvilgiu. 2.8 paveiksle pateikti 2012 m. vasario mėnesį atliktų matavimų rezultatai, esant apie 0 °C oro ir apie –3 °C dangos temperatūroms ir ant kelio dangos susidarius 1–2 cm storio sniego sluoksniui.

Matavimai skirtingo eismo intensyvumo keliuose atlikti išbėrus NaCl, CaCl₂ ir NANF esant oro temperatūroms nuo (0 iki –20) °C ir esant skirtingam kelio dangalui (sniegui, suplūktam sniegui ledui). Visi tyrimų bandomuosiuose ruožuose rezultatai pateikti A priede (11–22 pav.).



Atliktų matavimų kelyje rezultatai rodo tiesioginę sukibimo koeficiento ir vandens plėvelės storio kitimo priklausomybę. Taip pat matomos vienodos SMM efektyvumo tyrimų laboratorijoje ir matavimų kelyje rezultatų tendencijos:

- esant dangos temperatūrai nuo -2 iki -5 °C, kelio dangą veikiant NaCl ir CaCl_2 , sukibimo koeficientas kinta vienodame intervale $[0,3; 0,8]$ bei tas pačias vertes pasiekia po vienodo laiko intervalo, o esant dangos temperatūrai nuo -9 iki -18 °C, ir aplinkos temperatūrai iki -20 °C abi tirtos SMM yra neefektyvios.
- NaCl efektyvumas lyginant su NANF yra didesnis iki -7 °C tiek ledo ir sniego nutirpdymo greičiu, tiek ir sukibimo koeficiento verte.

2.7 lentelė. Apibendrinti visų SMM efektyvumo tyrimų rezultatai

Table 2.7. The summarised total SRM effectiveness research results

SMM	Aplinkos temperatūra, °C				
	-3 °C	-6 °C	-9 °C	-15 °C	-20 °C
NaCl	+++	±±±	± ̄ -	---	---
CaCl_2	±±±	± ̄ +	̄ ̄ ̄	̄ ̄ -	- ̄ -
NANF	± + *	± ̄ *	̄ ̄ *	̄ - *	- - *
MgCl_2	̄ ± *	- ̄ *	- ̄ *	- ̄ *	- ̄ *
NCMC	+++	±±±	± ̄ ̄	̄ --	---
<i>Pastaba:</i> + Didelio efektyvumo; ± Vidutinio efektyvumo; ̄ Mažo efektyvumo; - Neefektyvi, * Netirta.					

Apibendrinti eksperimentinių laboratorinių ir lauko tyrimų rezultatai pateikti 2.7 lentelėje, kurioje kiekvieno tyrimo metu gautas medžiagų efektyvumas suskirstytas į keturias kategorijas (nuo didelio efektyvumo su pažymėtu simboliu „+“ iki neefektyvios – „-“).

Apibendrinus eksperimentinių tyrimų laboratorinių ir lauko tyrimo rezultatus nustatyta, kad esant aplinkos oro temperatūrai iki -6 °C efektyviausia cheminė medžiaga yra NaCl, o oro temperatūrai esant žemesnei nei -9 °C visos tirtos medžiagos tampa mažai efektyvios. Oro temperatūrai nukritus žemiau -15 °C NaCl tampa visiškai neefektyvus, o iš likusių keturių tirtų scheminių medžiagų efektyviausias CaCl_2 , nors ir šis išlieka mažai efektyvus.

Todėl galima daryti išvadą, kad iš visų tirtų cheminių medžiagų, naudojamų kelių priežiūrai žiemą, Lietuvos meteorologinėms eismo sąlygoms tinkamiausias yra natrio bei kalcio chloridų druskos.

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Išanalizavus Lietuvos ir užsienio šalių patirtį pasiūlyta slidumą kelyje mažinančių cheminių medžiagų efektyvumo tyrimo metodika, leidžianti Lietuvos meteorologinėmis ir eismo sąlygomis objektyviai įvertinti alternatyvias tradicinėms chloridų druskoms chemines medžiagas.
2. Remiantis sudaryta slidumą kelyje mažinančių medžiagų tyrimų metodika laboratorijoje buvo ištirtos penkios cheminės medžiagos: natrio chloridas; kalcio chloridas; magnio chloridas; natrio ir kalcio modifikuotų chloridų mišinys komerciniu pavadinimu „Icemelt“; natrio acetato ir natrio formiato mišinys komerciniu pavadinimu „Nordway“.
3. Įvertinus laboratorijoje atliktų tyrimų rezultatus atrinktos 3 efektyviausios SMM (natrio chloridas; kalcio chloridas; natrio acetato ir natrio formiato mišinys „Nordway“), kurios ištirtos prie realių oro ir eismo sąlygų valstybinės reikšmės automobilių kelių ruožuose.
4. Apibendrinus eksperimentinių tyrimų rezultatus pastebėtos vienodos SMM efektyvumo lauko tyrimų ir laboratorijoje rezultatų tendencijos:
 - esant dangos temperatūrai nuo -2 iki -6 °C, kelio dangą veikiant natrio ir kalcio chloridų, sukibimo koeficientas kinta vienodame intervale nuo 0,3 iki 0,8 bei tas pats vertes pasiekia po vienodo laiko intervalo, o esant dangos temperatūrai žemesnei nei -9 °C visos tirtos medžiagos yra mažai efektyvios;
 - dangos temperatūrai pasiekus -15 °C ir žemesnę ledą galima tirpdyti tik kalcio ir magnio chloridų druskomis, tačiau ir šių efektyvumas yra itin mažas, visos kitos tirtos medžiagos visai neefektyvios;
 - NaCl efektyvumas lyginant su natrio acetato, natrio formiato mišiniu („Nordway“) yra didesnis iki -7 °C tiek ledo ir sniego nutirpdyimo greičiu, tiek ir sukibimo koeficiento verte.
5. Apibendrinus eksperimentinių laboratorinių ir lauko tyrimų rezultatus, galima teigti, jog šiuo metu Lietuvos meteorologinėms eismo sąlygoms tinkamiausios yra natrio bei kalcio chloridų druskos.

Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių teorinis vertinimo modelis

Trečiajame skyriuje pateiktas teorinis automobilių kelių priežiūros žiemą kokybės vertinimo modelis, jo sudedamieji elementai bei įverčiai.

Skyriuje pateikta atlikto saugaus eismo, kelionės laiko ir važiavimo kokybės, transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų, bei aplinkosauginis vertinimas. Taip pat statistiniais metodais nustatyta TP važiavimo greičio priklausomybė nuo kelio dangos būklės žiemą.

Skyriaus tematika paskelbtas straipsnis Laurinavičius *et al.* (2014).

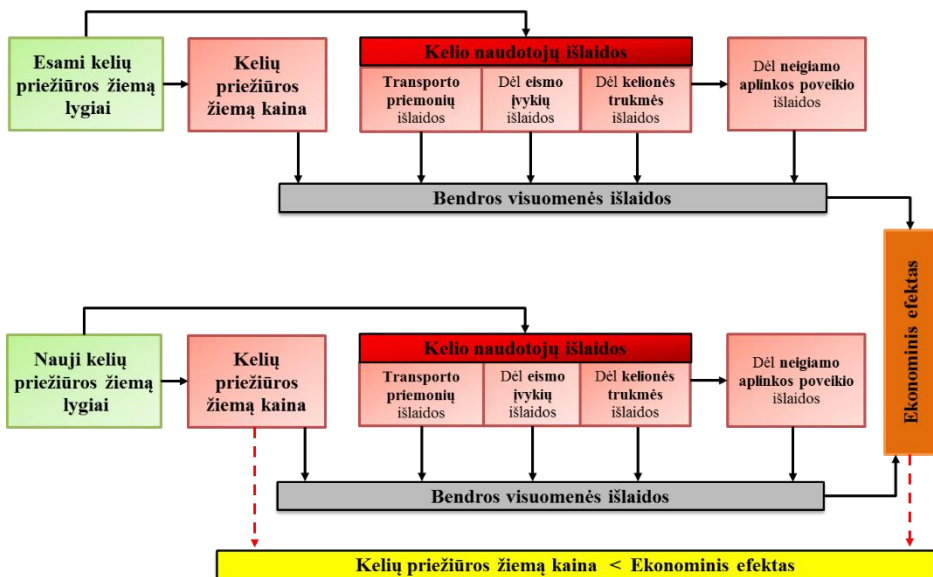
3.1. Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo teorinis modelis

Įvertinus pirmajame skyriuje atliktą literatūros šaltinių analizę, sudarytas automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo teorinis modelis (3.1 pav.). Teorinis modelis sudarytas remiantis Švedijoje, Kelių tyrimo instituto (VTI) bendradarbiaujant su Švedijos kelių direkcija sukurtu „*Žiemos modelio*“ (angl. „*Winter Model*“) pagrindiniais principais. Pilnai pritaikyti minėto Švedijos žiemos modelio nėra galimybės, nes modelis yra pritaikytas konkrečiai Švedijos automobilių kelių tinklui.

Remiantis mažiausių visuomenės išlaidų principu, siekiant nustatyti tam tikro kelio elemento ar darbo optimalų priežiūros lygį, reikia:

- apskaičiuoti tam tikro kelio elemento priežiūros, arba priežiūros darbų rūšies kainą prie įvairių priežiūros lygių;
- nustatyti, kokioms kelio naudotojų išlaidoms – transporto priemonių eksploatacinėms išlaidoms, laiko, ar eismo įvykių nuostoliams, kelio elemento priežiūra arba priežiūros darbų rūšis turi įtakos;
- apskaičiuoti kelio naudotojų išlaidas esant skirtingiems tam tikro kelio elemento arba priežiūros darbų rūšies priežiūros lygiams;
- nustatyti, prie kurio priežiūros lygio suminės kelio elemento priežiūros ir kelio naudotojų išlaidos yra mažiausios; tas priežiūros lygis ir bus optimalus tam elementui ar priežiūros darbų rūšiui. Tai yra, prižiūrint tą kelio elementą tokiu lygiu, visuomenės išlaidos bus mažiausios, o prižiūrint jį kitu (kad ir aukštesniu) priežiūros lygiu, visuomenė patirs didesnius nuostolius.

Ekonomiškai optimalių priežiūros lygių parinkimui reikalinga apskaičiuoti tam tikrus ekonominius rodiklius – priežiūros kainas ir kelio naudotojų išlaidas. Buvo nustatyta, kad ekonomiškai optimalius priežiūros lygius galima apskaičiuoti tik vienam kelio elementui – dangai (3.1 pav.).



3.1 pav. Automobilų kelių priežiūros žiema lygių vertinimo teorinio modelio schema (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.1. The theoretical model scheme of winter road maintenance levels assessment (compiled by the author)

Teoriniame modelyje priimta sąlyga, kad pritaikytų naujų kelių priežiūros žiemą lygių ekonominis efektas turi būti didesnis nei numatomi kelių priežiūros žiemą kaštai.

Didžiausia dalis kelių priežiūros lėšų skiriama žiemos priežiūrai (žr. 1.3 pav.) todėl labai svarbu paskirstyti jas kaip įmanoma racionaliau (Norrman *et al.* 2001). Kelio dangos konstrukcija yra sudėtinga daugialypė sistema, veikianti tokioje pat sudėtingoje ir daugialypėje aplinkoje. Norint modeliuoti joje vykstančius reiškinius, reikalinga įvertinti visus tą sistemą ir ją supančią aplinką apsprendžiančius parametrus. Tik žinant visus modeliuojamam dydžiui įtakos turinčius veiksnius, galima tikėtis absoliučiai tikslaus rezultato. Tačiau nagrinėjant tokią sudėtingą sistemą, kokia yra kelio danga, kurios būklę nuolat veikia įvairūs meteorologiniai reiškiniai, net šiais aukštų technologijų laikais įvertinti visus veiksnius nėra nei praktinės galimybės, nei ekonomiškai tikslinga, tai atlikti.

Priežiūros lygis yra tiesioginis automobilių kelių eksploatacijos ir priežiūros paslaugos teikiamos kelių vartotojams įvertinimas, nuo kurios tiesiogiai priklauso kelio priežiūros ir kelio naudotojų išlaidos – kuo geresnė kelių priežiūra, tuo mažesnės kelio naudotojų išlaidos ir atvirkščiai.

Sniego valymas ir slidumą kelyje mažinančių medžiagų barstymas – tiesiogiai įtakoja eismo sąlygas – važiavimo greitį ir avaringumą. Nuo važiavimo sąlygų priklauso ir kuro sąnaudos, todėl dangų priežiūra žiemą turi įtakos aplinkai, oro taršai, bei TP eksploatacijai. Šias kelio naudotojų išlaidas galima apskaičiuoti sumodeliavus dangų priežiūros žiemą įtaką TP važiavimo greičiui ir eismo įvykių skaičiui (VĮ Kelių... 2003).

Ekonomiškai optimalus priežiūros lygis – toks, kuriam esant visuomenės išlaidos (kelio priežiūros ir kelio naudotojų išlaidų suma) yra mažiausios. Iš pirmame skyriuje atliktos mokslo darbų kelių priežiūros kokybei gerinti analizės, galima teigti, kad didžiausią įtaką kelio naudotojų patiriamoms išlaidoms turi kelio važiuojamosios dangos būklė žiemą. Būtent šio kelio elemento priežiūrai žiemą yra panaudojami didžiausi materialiniai ir fiziniai resursai. Todėl toliau šioje disertacijoje pagrindinis dėmesys yra skiriamas važiuojamosios kelio dangos priežiūros lygių įvertinimui.

Remiantis pirmame skyriuje atliktos analizės rezultatais, visus veiksnius, kurių sąveika tiesiogiai lemia kelio dangos būklę, galima suskirstyti į keturias pagrindines grupes, kurias dar galima skaidyti į pogrupius:

- transporto eismas (intensyvumas, sudėtis ir važiavimo greitis);
- aplinkos veiksniai (klimatas, geografinė padėtis ir laikas);
- kelio dangos tipas ir kokybiniai parametrai (plotis, ilgis);
- kelio dangos priežiūros žiemą priemonės (sniego valymas, barstymas slidumą mažinančias medžiagas).

Būtina išnagrinėti visus veiksnius įvertinant juos ekonominiu ir socialiniu aspektu. Projektų ekonominiam ir finansiniam vertinimui atlikti naudojami įvairūs

įkainiai ir koeficientai. Automobilių kelių investicijų vadovo 2 priede pateikti šie įkainiai ir koeficientai:

- avaringumo: eismo įvykių (kai yra žuvusiųjų, sužeistųjų ir kai patiriama tik materialinė žala) kaina;
- kelionės laiko: kelionės laiko kaina kiekvienam transporto priemonių tipui;
- kelių transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų: eksploatacinių sąnaudų kaina kiekvienam transporto priemonių tipui;
- aplinkos taršos: nuostolių dėl žvyrkelių dulketumo, oro taršos, šiltnamio efekto, triukšmo;
- saugaus eismo priemonių poveikio koeficientai.

Lietuvoje šie įkainiai ir koeficientai yra perskaičiuojami kasmet ir tvirtinami pirmąjį metų ketvirtį (Automobilių kelių investicijų vadovas 2015).

3.2. Valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo suskirstymas į grupes pagal funkcinę paskirtį

Bendros kelio naudotojų išlaidos tiesiogiai priklauso nuo jų skaičiaus – eismo intensyvumo, tačiau labai svarbi yra kelio reikšmė ir kategorija. Taip pat labai svarbu yra TP srauto sudėtis, kadangi skirtinga kelionės laiko kaina kiekvienam TP tipui.

Ekonomiškai pagrįstų kelių priežiūros lygių parinkimui ir ekonominių skaičiavimų bei įvertinimų supaprastinimui, pasinaudota 2011 metais VGTU Kelių tyrimo instituto parengtoje mokslo ataskaitoje „*Automobilių kelių tinklo elementų paskirties analizė ir plėtros schemos parengimas*“ pateiktu Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo skirstymu pagal funkcinę paskirtį (VGTU mokslo darbo ataskaita 2011). Lietuvai, kaip ES šaliai, tikslinga pritaikyti ES šalių gerąją patirtį. Tai daugelyje Europos šalių priimtas kelių skirstymas pagal jų funkcinę paskirtį:

- Europiniai – keliai sutampantys su patvirtintais Europiniais transporto koridoriais, kurie turėtų tarnauti tolimojo susisiekimui, visos ES mastu, tranzitinei funkcijai. Lietuvos teritoriją kerta I-sis ir IX-sis transporto koridoriai bei jų atšakos kelių transportui. Kai kurios koridorių atšakos priskirtinos Euro Regioninei funkcei paskirčiai.
- Euro Regioniniai – kiti keliai sutampantys su patvirtintais ES TEN-T ar Jungtinių Tautų „E“ keliais Lietuvos teritorijoje ir jungia kaimyninių ES šalių sostines ar svarbias ekonomines – kultūrinės – rekreacinės zonas, dažniausiai tarnauja tranzitinei – jungiamajai funkcijai Europos regiono mastu. Lietuvoje kai kurie ES TEN ar JT „E“ keliai priskirtini Nacionalinei funkcei paskirčiai.

- Nacionaliniai – keliai ypatingai svarbūs tolimajam susisiekimui šalies viduje. Jie dažniausiai jungia valstybės sostinę su regionų centrais ar nacionaliniu požiūriu svarbiomis ekonominėmis – kultūrinėmis – rekreacinėmis zonomis, taip pat Lietuvos regionų centrus su kaimyninėmis šalimis jei ši jungtis nėra svarbi Europos regiono (pavyzdžiui – Baltijos) mastu. Dažniausiai atlieka tranzitinę – jungiamąją ar tik jungiamąją funkcijas.
- Regioniniai – keliai jungiantys šalies regionų centrus tarpusavyje ar su svarbiomis, regiono reikšmės, ekonominėmis – kultūrinėmis – rekreacinėmis zonomis bei rajonų centrais. Dažniausiai atlieka jungiamąją funkciją.
- Rajoniniai – keliai jungiantys šalies rajonų centrus tarpusavyje ar su svarbiomis, rajono reikšmės, ekonominėmis – kultūrinėmis – rekreacinėmis zonomis bei apylinkių centrais. Dažniausiai atlieka jungiamąją ar skirstomąją funkcijas.
- Vietiniai (apylinkių) – keliai jungiantys apylinkių centrus tarpusavyje ar su svarbiomis, rajono reikšmės, ekonominėmis – kultūrinėmis – rekreacinėmis zonomis bei apylinkių centrais. Dažniausiai atlieka skirstomąją ar privažiavimo funkciją.
- Privažiavimo – keliai suteikiantys galimybę pasiekti Lietuvos valstybinį kelių tinklą iš įvairios paskirties gyvenamųjų, ūkinių, kultūrinių ar rekreacinių objektų ar teritorijų ir, kaip taisyklė, tarnauja privažiavimo funkcijai. Pageidautina, kad šie keliai būtų priskirti savivaldybėms ar fiziniams ir juridiniams asmenims priklausantiems vietiniams keliams pagal LR Kelių įstatyme reglamentuotą kelių reikšmę.

3.1 lentelė. Automobilių kelių tinklo suskirstymas į grupes pagal funkcinę paskirtį (VGTU... 2011)

Table 3.1. Road network breakdown into categories according to the functional purpose (VGTU... 2011)

Kelio funkcinė reikšmė	Magistraliniai keliai, km		Krašto keliai, km	Rajoniniai keliai, km	Viso, km
	2-jų važ. dalių	1-os važ. dalies			
1	2	3	4	5	6
Europinė	296,3	286,2	–	–	582,5
Euro Regio- ninė	123,3	412,7	–	–	536,0

1.3 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6
Nacionalinė	–	623,3	223,4	–	846,7
Regioninė	–	–	3389,1	5,3	3394,4
Rajoninė	–	–	1323,6	5892,0	7215,6
Vietinė	–	–	–	6929,7	6929,7
Privažiavimo	–	–	–	1789,4	1789,4

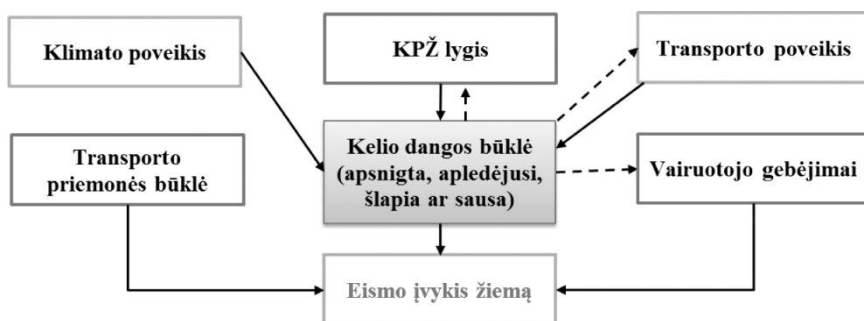
Visuomenės išlaidų skaičiavimas tokiu atveju apsiribotų vidutinių reikšmių suskaičiavimu visoms kelių funkcinės priklausomybės grupėms prie skirtingų priežiūros lygių.

3.3. Automobilių kelių priežiūros žiemą kokybės (priežiūros lygių) vertinimo modelio teoriniai įverčiai

3.3.1. Saugaus eismo vertinimas

Per paskutinius 20 metų ženkliai išaugus transporto priemonių skaičiui tuo pačiu išryškėjo saugaus eismo problemos. Nuolatos plečiamas ir tobulinamas automobilių kelių tinklas siekiant patenkinti kelių naudotojų didėjančius mobilumo poreikius pradėjo kelti vieną iš didžiausių grėsmių žmonių gyvybei ir sveikatai. 2015 metų Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, automobilių keliuose įvykstančiuose eismo įvykiuose kasmet vidutiniškai žūsta daugiau kaip milijonas žmonių. Vien ES šalyse eismo įvykiuose netenkama virš 28 tūkstančių gyvybių ir virš 250 tūkstančių žmonių patiria sunkius fizinius sužalojimus, o materialinė žala dėl eismo įvykių siekia net iki 2 % visos ES bendrojo vidaus produkto (Global status report on road safety 2015). Dėl šių išaugusių grėsmių mokslinėse institucijose pradėjo kurtis atskiros saugaus eismo disciplinos, griežtinami kelių projektavimo ir kelio saugumo reikalavimai, didinama kontrolė eismo taisyklių pažeidimams, bei atliekama daugybė mokslinių tyrimų saugaus eismo tema siekiant suvaldyti vis didėjančių eismo įvykių skaičių keliuose. Iš pirmame skyriuje atliktos mokslo darbų analizės matoma (žr. 1.12 pav.), kad kelių priežiūros kokybė žiemą turi labai svarią įtaką eismo saugumui. Siekiant vykdyti eismo saugumo prevenciją ir sumažinti eismo įvykių skaičių žiemos metu būtina įvertinus užsienio šalių patirtį, sukurti saugaus eismo vertinimo modelį atsižvelgiant į Lietuvoje vyraujančias aplinkos ir eismo sąlygas, bei taikomų kelių priežiūros lygių.

Pagrindiniai eismo įvykių žiemą įtakojantys veiksniai pateikiami 3.2 paveiksle.



3.2 pav. Pagrindiniai eismo įvykį žiemą įtakojantys veiksniai
(Usman *et al.* 2010)

Fig. 3.2. The main factors affecting the road accidents in the winter
(Usman *et al.* 2010)

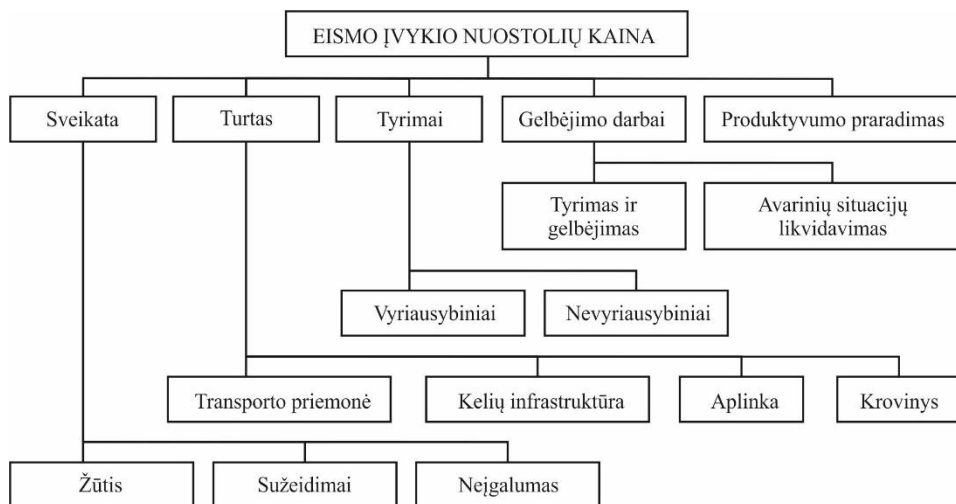
Vertinamų parametų kiekis yra ribojamas techninių ir finansinių galimybių tuos parametrus išmatuoti visame automobilių kelių tinkle. Todėl, prieš pradedant tiriamąjį darbą svarbu išanalizuoti galimybę surinkti duomenis apie aukščiau išvardintus veiksnius, įtakojančius eismo įvykių riziką Lietuvos automobilių keliuose žiemą, taip pat nustatyti tikėtinas jų vertes.

Nuostolių dėl kelių eismo įvykių skaičiavimo metodika

Eismo įvykio kainos modelis sudarytas iš 5 komponentų. Kiekvienas komponentas apima tokias atskiras sritis: žmonių sveikatą, žalą turtui, tyrimus, gelbėjimo darbus. Tokio pobūdžio kainos apskaičiavimo modelis pateiktas todėl, kad būtų standartizuota kainos palyginimo sistema įvairaus pobūdžio modeliuose. Eismo įvykio išlaidos apima tiek tiesiogines, tiek netiesiogines išlaidas. Tiesioginėmis išlaidomis vadinama tas, kurios tiesiogiai gali būti įvertintos ir apskaičiuotos už eismo įvykio metu padarytą žalą žmogui, turtui ir aplinkai, taip pat išlaidas už įvairius tyrimus ir ekspertizes, kurios reikalingos eismo įvykio priežastims ir pasekmėms nustatyti, įvertinti ir suskaičiuoti. Netiesioginių išlaidų tiesiogiai įvertinti negalima, tačiau jos turi vėlesnę neigiamą įtaką ir yra apskaičiuojamos pagal tam tikras metodikas. Eismo įvykio kainos modelis pavaizduotas 3.3 paveiksle. Jame kiekvienas komponentas suskirstytas į papildomas dalis, kurios turi įtaką skirtingose srityse.

Didžiausią eismo įvykių nuostolių dalį sudaro žmonių sužeidimai, neįgalumai ir mirtys, t. y. nuostoliai patirti įskaitinių eismo įvykių metu. Eismo įvykių nuostolių vertinimas pagrįstas tuo, kad eismo įvykio metu žuvęs ar sužeistas žmogus neįneša arba įneša mažesnę indėlį kuriant materialines vertybes. Sudaužytos transporto priemonės, sugadinti kroviniai, sulaužyti kelio statiniai valstybei padaro didžiulius nuostolius. Materialinių nuostolių dėl eismo įvykių piniginis įvertinimas

leidžia ekonomiškai pagrįsti KDPŽ taikomų priemonių efektyvumą, skirtingais priežiūros lygių taikymo scenarijais.



3.3 pav. Nuostolių dėl kelių eismo įvykių skaičiavimo metodika (VGTU... 2008)

Fig. 3.3. The calculation methodology for losses caused by road accidents (VGTU... 2008)

Skaiciuojant eismo įvykių rizikos sumažėjimo (santaupų) ekonominę naudą, galima taikyti eismo įvykių nuostolių įkainius pateiktus „Automobilių kelių investicijų vadove“ t. y., išvengus vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis, išvengiama nuostolių, kurių ekonominė vertė sudaro 54,201 tūkst. Eur, o išvengus eismo įvykio su žuvusiais – išvengiama nuostolių, kurių vertė sudaro 596,899 tūkst. Eur (Automobilių kelių investicijų vadovas 2015). Taip pat vertinti ir techniniai eismo įvykiai. Kadangi gauti tikslius duomenis apie techninius įvykius yra sudėtinga ir įvertinant, kad šių įvykių įtaka modelio rezultatams nėra esminė (techninio eismo įvykio metu patiriamų nuostolių kaina – 1,720 tūkst. Eur), galima priimti, kad techninių eismo įvykių keliuose bus tiek pat, kiek ir įskaitinių (t. y. techninių eismo įvykių skaičius lygus įskaitinių eismo įvykių skaičiui).

Duomenys apie eismo įvykius

Nagrinėjant eismo saugumo situaciją keliuose, parenkant eismo saugumą gerinančias priemones, svarbu detaliai išanalizuoti įvykusius eismo įvykius ir jų aplinkynes, dalyvavusių eismo dalyvių ir transporto priemonių ypatybes.

Lietuvoje informaciją apie kelių eismo įvykius tvarko, kaupia, apibendrina ir analizuoja Lietuvos kelių policijos tarnyba. Duomenys apie eismo įvykius kaupiami Kelių eismo taisyklių pažeidimų ir eismo įvykių registro duomenų bazėje. Kiekvienam įskaitiniam eismo įvykiui pildoma *eismo įvykio kortelė*, kurioje pateikiama informacija apie: eismo įvykių dalyvių skaičių (dalyvavo, žuvo, sužeista); transporto priemonių skaičių (dalyvavo, apgadinta); eismo įvykio rūšį; data, laiką; vietą kelyje (kelio numeris, kilometras, kelio reikšmė) ar gyvenvietėje (savivaldybė, miestas, kaimas, pagrindinė gatvė, šalutinė gatvė); eismo sąlygas (dangos rūšis ir būklė, apšvietimas, meteorologinės sąlygos, sankryžos tipas, atitvarai ir pan.); informacija apie transporto priemones (valstybinis numeris, tipas, markė, pagaminimo metai, gedimai, nulėmę eismo įvykį ir pan.). Duomenys iš eismo įvykio kortelės ne vėliau kaip per 3 darbo dienas nuo eismo įvykio datos įvedami į duomenų bazę (Lietuvos policijos... 2012; Mamčic *et al.* 2013).

Išsamesnę statistinių eismo įvykių analizę galima atlikti naudojantis Suomijos kelių direkcijos modelio *ONHA* adaptaciją Lietuvai *ONHA LT*. Pavadinimas „*ONHA*“ susideda iš suomiškų žodžių pirmųjų raidžių, kurie reiškia „eismo įvykių analizės duomenų bazė“. Programa yra skirta automatiniais būdais sisteminti statistinius eismo įvykių duomenis ir atlikti jų analizę taikant įvairias užklausas. Pagrindinis *ONHA LT* programos tikslas yra sudaryti galimybę vartotojui nagrinėti norimus eismo įvykių duomenis įvairiais pjūviais. *ONHA LT* programos duomenų bazė sudaryta apjungus tris atskiras duomenų bases:

- eismo įvykių ir jų aplinkybių;
- eismo dalyvių, dalyvavusių eismo įvykiuose;
- transporto priemonių, dalyvavusių eismo įvykiuose duomenų bazę.

ONHA LT duomenų bazę sudaro įskaitinių eismo įvykių, įvykusių Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose ir miestų gatvėse, duomenys nuo 2006 metų. *ONHA LT* suteikia galimybę analizuoti:

- eismo įvykių skaičių ir jų pasekmes;
- eismo įvykių aplinkybes ir jų vietą;
- eismo įvykių dalyvius ir transporto priemones.

Naudojantis *ONHA LT* programa galima:

- grupuoti ir operuoti duomenis įvairiais pjūviais;
- pateikti duomenų kitimo grafikus ir lenteles;
- atlikti duomenų pasiskirstymo statistinį palyginimą.

Pavyzdžiui, programoje suformavus užklausas galima gauti valstybinės reikšmės keliams tokius duomenis kaip: eismo įvykių skaičių pagal pobūdį (3.2 lentelė) ar pagal pasekmes (3.3 lentelė) esant apsnigtai, apledėjusiai, šlapiai ar sausai kelio dangai ir panašiai (Jasiūnienė, Čygas 2013).

3.2 lentelė. Nuo 2011 spalio 15 d. iki 2014 balandžio 15 d. įvykusių įskaitinių eismo įvykių skaičiaus pasiskirstymas pagal kelio dangos būklę ir eismo įvykių pobūdį (Šaltinis: Eismo įvykių analizės sistema *ONHA LT*)

Table 3.2. The distribution of the representative road accident amount – occurring from October 15, 2011, to April 15, 2014, according to the road surface condition and road accident type (Source: Road accident analysis system *ONHA LT*)

Kelio dangos būklė	Eismo įvykių pobūdis		
	Su žuvusiais EĮ, vnt.	Su sužeistais EĮ, vnt.	Įskaitiniai EĮ, vnt.
Apledėjusi	41	259	300
Apsnigta	38	216	254
Kita (sausą, šlapia, užteršta)	259	1183	1442
Viso:	338	1658	1996

3.3 lentelė. Nuo 2011 spalio 15 d. iki 2014 balandžio 15 d. įvykusių eismo įvykių skaičiaus pasiskirstymas pagal kelio dangos būklę ir eismo įvykių pasekmes (Šaltinis: Eismo įvykių analizės sistema *ONHA LT*)

Table 3.3. The distribution of the road accident amount – occurring from October 15, 2011, to April 15, 2014, according to the road surface condition and road accident consequences (Source: Road accident analysis system *ONHA LT*)

Kelio dangos būklė	Eismo įvykių pasekmes		
	Žuvę, žm. sk.	Sužeisti, žm. sk.	Nenukentėję, žm. sk.
Apledėjusi	52	444	302
Apsnigta	46	345	283
Kita (sausą, šlapia, užteršta)	283	1679	1529
Viso:	381	2468	2114

Eismo įvykiai skirstomi pagal pasekmes:

- eismo įvykis, kuriame žuvo žmonės;
- eismo įvykis, kuriame buvo sužeisti žmonės;
- techninis eismo įvykis.

Avaringumo laipsniui nustatyti naudojamas avaringumo koeficientas AK (Automobilių... 2015):

$$AK = \frac{A \cdot 10^6}{(365 \cdot L \cdot VMPEI)}, \quad (3.1)$$

čia A – įskaitinių eismo įvykių skaičius per metus, vnt.; L – kelio ruožo ilgis, km; $VMPEI$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas žiemą, aut./parą.

Eismo įvykių sąnaudos apskaičiuojamos pagal šią formulę:

$$AN = \left(\frac{AK \cdot L \cdot VMPEI \cdot 365}{10^6} \right) \cdot VVAK, \quad (3.2)$$

čia AK – avaringumo koeficientas; L – kelio ruožo ilgis, km; $VMPEI$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas žiemą, aut./parą; $VVAK$ – vidutinė vieno eismo įvykio kaina, Eur.

Pagal šiuos duomenis išvedama eismo įvykių sąnaudų matematinę formulę:

$$AS = VMPEI \cdot \frac{AK}{10^6} \cdot L \cdot VVAK \cdot 365, \quad (3.3)$$

čia:

$$VVAK = \sum_{i=1}^m VVAK_i \cdot AS_i, \quad (3.4)$$

čia $VVAK_i$ – vidutinių vieno eismo įvykio kainų suma (eismo įvykiai su žuvusiais, sužeistaisiais ir techniniai eismo įvykiai), Eur; AS_i – eismo įvykių skaičius.

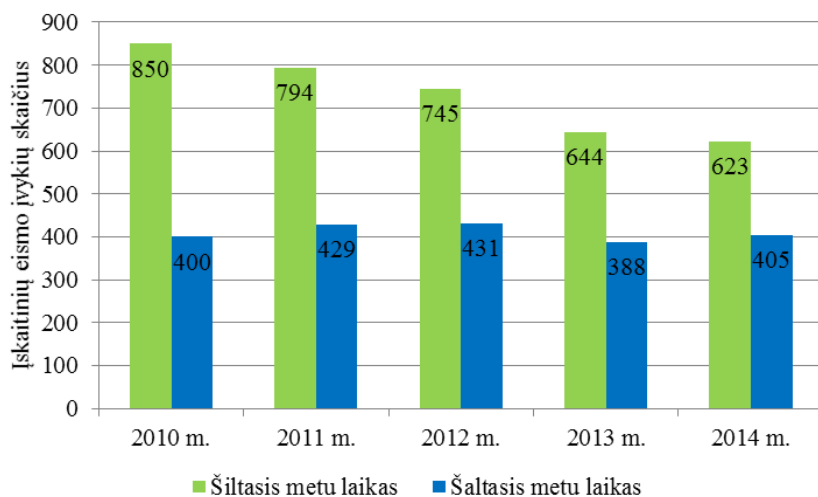
Saugaus eismo vertinimui naudojami 4 metų (2011–2014 m.) laikotarpio stebėjimo duomenys. Šis laikotarpis pasirinktas dėl dviejų priežasčių. Pirmą, mokslinėje literatūroje prognozavimui siūloma naudoti 3–5 metų duomenis. Antra – didesnis kiekis stebėjimo duomenų leidžia įvertinti duomenų dinamiką ir atlikti patikimesnę prognozę.

3.4 paveiksle matosi, kad jei šiltuoju metų laiku (nuo balandžio 16 d. iki spalio 14 d.) įskaitinių eismo įvykių kasmet mažėja, tai šaltuoju metų laiku (nuo spalio 15 d. iki balandžio 15 d.) šis skaičius išlieka pastovus ir reiškia, kad vasarą diegiamos eismo saugumo priemonės jau duoda gerus rezultatus, na, o šaltuoju metų laiku eismo įvykių skaičius išlieka pastovus, todėl būtina ieškoti optimalių sprendinių automobilių kelius prižiūrint žiemą.

3.4 lentelė. Apskaičiuotas avaringumo koeficientas ir EĮ tankis valstybinės reikšmės keliuose. Nuo 2011 spalio 15 d. iki 2014 balandžio 15 d. laikotarpyje (Šaltinis: Eismo įvykių analizės sistema ONHA LT)

Table 3.4. The calculated accident coefficient and road accident rate on national roads within the period of October 15, 2011, to April 15, 2014 (Source: Road accident analysis system ONHA LT)

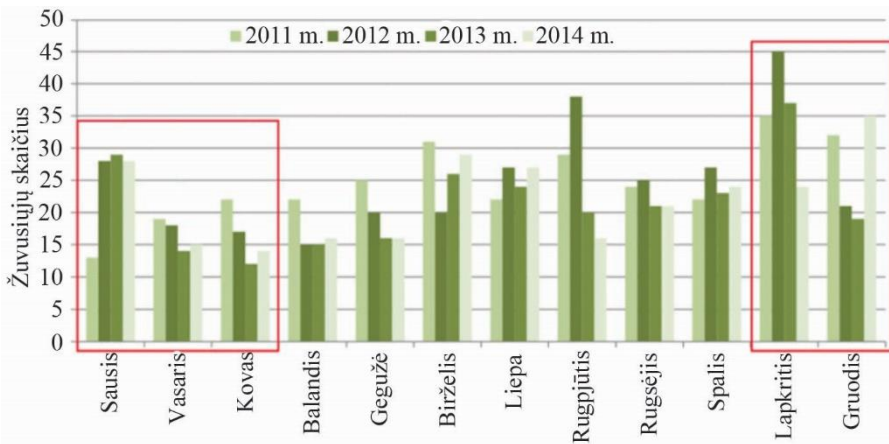
Paskirtis	Bendras ilgis ilgis, km	Bendras VMPEIgr, aut./p.	Įskaitinių eismo įvykių sk., vnt	Avaringumo koeficientas	EĮ tankis
Europinė	582,5	14072,5	189	3,16	0,16
Euro Regioninė	536,0	7005,7	151	5,52	0,14
Nacionalinė	846,7	6256,2	261	6,76	0,15
Regioninė	3394,4	2507,0	625	10,08	0,09
Rajoninė	7197,6	735,5	521	13,50	0,04
Vietinė	6929,7	223,6	157	13,90	0,01
Privažiavimo	1779,9	196,8	36	14,11	0,01



3.4 pav. Šiltuoju ir šaltuoju metų laiku įvykusių įskaitinių eismo įvykių skaičiaus pasiskirstymas 2010–2014 m (Šaltinis: Eismo įvykių analizės sistema ONHA LT)

Fig. 3.4. The distribution of the representative road accident amount in the cold and warm time of the year in 2010–2014 (Source: Road accident analysis system ONHA LT)

Remiantis 2010–2014 metų eismo įvykių duomenimis, daugiausia įskaitinių eismo įvykių įvyksta lapkričio mėnesiais, kai prasideda pirmieji krituliai – sniegas ir paros temperatūra būna apie 0 °C. Nors kelininkai žiemos sezonui jau pradeda ruoštis nuo spalio mėnesio 15 dienos, bet dažniausiai pirmieji žiemos požymiai matyti nuo lapkričio mėnesio pradžios (3.5 pav.). Tada keičiasi vairavimo sąlygos, kelio danga dažnai būna šlapia, apledėjusi ir slidi. Tuo tarpu mažiausiai eismo įvykių šaltuoju metų laiku įvyksta kovo mėnesį, kai krituliai negausūs ir oro sąlygos pastovios.



3.5 pav. Žuvusiųjų pasiskirstymas pagal mėnesius 2011–2014 m.
(Lietuvos... 2014)

Fig. 3.5. Fatal accident distribution by months in 2010–2014 (Lietuvos... 2014)

Sezonų pokyčiai turi įtakos eismo situacijai keliuose. Priklausomai nuo metų laiko keičiasi eismo intensyvumas, eismo dalyvių kiekiai ir pasiskirstymas, taip pat eismo sąlygos. Vasarą žmonės daugiau laiko praleidžia lauke, daugiau keliauja, keliais važinėja daugiau dviračių, motociklų ir mopedų. Įpusėjus rudeniiui ir atšalus orams, pablogėja eismo sąlygos, o vairuotojai būna dar neprisitaikę prie eismo sąlygų pokyčio. Visa tai didina eismo įvykių tikimybę. Nors 2014 metais daugiausia įskaitinių eismo įvykių ir įvyko vasarą – 934 eismo įvykiai, tačiau daugiausia žuvusiųjų užfiksuota žiemą – 78 žuvę eismo dalyviai.

3.3.2. Kelionės laiko ir važiavimo kokybės vertinimas

Kelionės trukmės didėjimas – tai svarbiausias išlaidų dėl spūsčių komponentas, sudarantis apie 90 % suminių spūsčių ekonominių kaštų. Transportavimo laiko ar

kelionės trukmės vertinimą lemia kelionės tikslas, keleiviniam transportui – rūšis ir kelionės atstumas, krovininiam transportui – tipas.

Nustatant vidines išlaidas, naudojami skirtingi gaišimo ar sistemos perpildymo išlaidų rodikliai. Šie rodikliai atspindi ir transporto sistemos kokybę. Konceptija numato įvertinti vidutines vartotojų kelionės išlaidas, viršijančias tam tikrą lygį, kurį apibrėžia priimtinas kokybės standartas.

Ekonominiams kelionės kaštams bei retiems atsitiktiniams nuostoliams įvertinti būtina daug parametrų ir prielaidų, nes šie parametrai negali būti įvertinti fizikinėmis išraiškomis. Svarbiausiais iš jų laikomi (De Palma *et al.* 2006):

- kelionės laiko vertė naudojama išversti laiko nuostolius ir/ar sumažėjusį patikimumą bei komfortą į piniginius vienetų;
- greičio – srauto ryšiai, aprašantys papildomos transporto priemonės poveikį esančiai transporto sistemai ir, tuo pačiu, kitų vartotojų bei visuomenės išlaidas;
- paklausos kitimas, apibūdinantis galimą vartotojų reakciją į išorinių spūčių kaštų internalizaciją.

Naudojamos kaštų vertinimo metodikos remiasi kelionės trukmės vertinimu. Tuo tikslu atlikta daugybė tyrimų įvairiose Europos šalyse. Praktikoje ekspertai linkę naudotis apibendrintomis kelionės laiko sąnaudomis reikšmėmis keleiviniam bei krovininiam transportui, pateiktomis 3.5 lentelėje pagal 25 ES šalių vidurkį (Keršys 2011; Automobilių... 2015).

3.5 lentelė. Kelionės laiko sąnaudų įkainiai atskiriems transporto priemonių tipams
Table 3.5. Travel time related costs for individual vehicle types

Automobilio tipas	Vienos valandos kelionės laiko vertė, Eur
Lengvasis automobilis	8,66
Krovininiai automobiliai:	
2 ašių	8,91
3 ašių	11,34
4 ašių	16,00
5 ašių ir daugiau, vilkikas	20,00
Mažas autobusas (iki 20 vietų)	29,25
Didelis autobusas (virš 20 vietų)	93,94

Kelionės trukmė priklauso nuo pasirinkto maršruto ilgio, kelio būklės, leistino greičio, transporto priemonės techninių charakteristikų, eismo intensyvumo ir kelio pralaidumo. Esamą kelionės trukmę galima nustatyti:

- fiksuojant transporto priemonių numerius rankiniu būdu;
- važiuojant nustatytą skaičių kartų tiriamu maršrutu;
- apskaičiuoti, įvertinant kelio ilgį, vidutinį važiavimo greitį ir eismo intensyvumą

Kelio naudotojų sugaištą laiką dėl slidžios kelio dangos galima apskaičiuoti taip:

$$KLS = L \cdot t_p \cdot VMPEI_z \cdot \frac{(v_2 - v_1)}{v_1 \cdot v_2}, \quad (3.5)$$

čia KLS – kelionės laiko nuostoliai, val.; t_p – slidžios kelio dangos būklės trukmė, val.; $VMPEI_z$ – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas žiemą, aut./parą; v_1 – vidutinis TP važiavimo greitis esant slidžiai kelio dangos būklei, km/val.; v_2 – vidutinis TP važiavimo greitis esant normaliomis kelio dangos būklės sąlygomis, km/val.

Prognozuoti automobilių kelionės trukmę Lietuvos valstybinių kelių tinkle yra labai sudėtinga. Kaip rodo daugiamečių stebėjimų rezultatai, transporto priemonių srauto greitis yra artimas ar dažniausiai didesnis už leistiną tame kelyje ir beveik nepriklauso nuo pagrindinės įtakančios charakteristikos – eismo intensyvumo kitimo. Kaip rodo ilgamečiai eismo stebėjimo duomenys, vidutinis automobilių srauto greitis, ypač jei jame maža dalis krovinių transporto (neviršija 15 %), dažnai yra didesnis už leistiną tame kelyje ir eismo intensyvumas jam įtaką pradeda daryti tik pasiekus 6 400 aut./parą (2-iems juostoms – 11 840 aut./parą) (Automobilių kelių investicijų vadovas 2015).

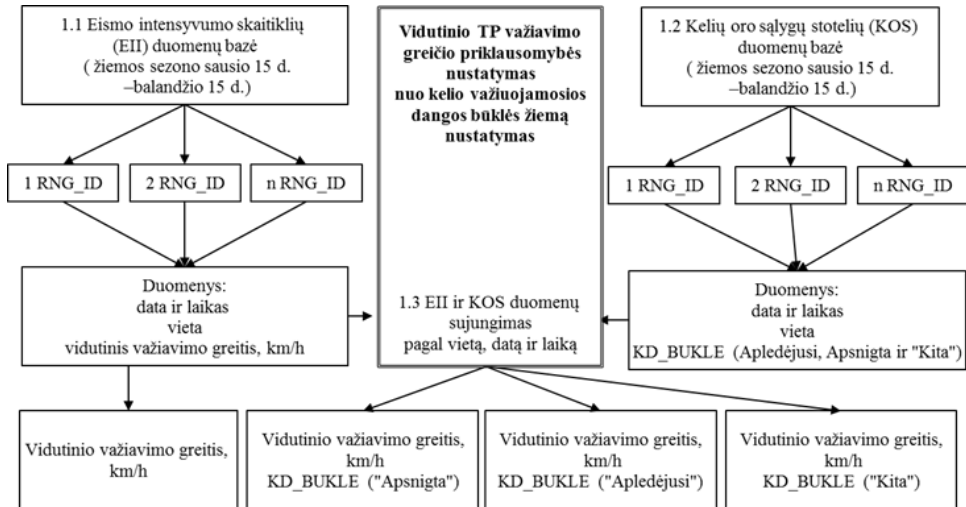
Greičio – srauto funkcija priklauso nuo infrastruktūros charakteristikų, topografijos, oro sąlygų, tinklo struktūros, galimų kelionės alternatyvų, įvairių eismo reguliavimų (greičio kontrolės, įlaipinimo/pakrovimo procedūrų ir t. t.) ir vairavimo įpročių. Visi vertinimo žingsniai labai priklauso nuo transporto sistemos kitimo dinamikos ir nuo turimų duomenų kokybės bei laiko vertinimo.

Siekiant nustatyti kelionės trukmės įtaką nuo KDPŽ taikomų priežiūros lygių, visų pirma reikia įvertinti kelių oro sąlygų įtaką vidutiniam TP važiavimo greičiui. Aukštesnis priežiūros lygis nustato griežtesnius kelio važiuojamosios dangos priežiūros reikalavimus, taip užtikrinant tolygesnes ir patogesnes važiavimo sąlygas ir tuo pačiu didesnį vidutinį važiavimo greitį, bei trumpesnę kelionės trukmę. Šis laiko kaštų sumažėjimas yra vienas iš žiemos priežiūros teikiamos naudos komponentų – transporto laiko santaupos.

Greičio priklausomybės nuo kelio dangos būklės nustatymas

Nagrinėjant kelių oro sąlygų įtaką TP kelionės trukmei, išskiriamas poveikis greičiui, atsirandančiam dėl nepalankių oro sąlygų ir eismo intensyvumui. Oro sąlygos daro poveikį vairuotojo elgsenai, važiavimo greičiui, eismo saugumui ir mobilumui.

Reikia nustatyti, ar egzistuoja tiesinė priklausomybė tarp vidutinio greičio ir kelio dangos būklės, jai esant apsnigtai ar apledėjusiai (3.6 pav.).



3.6 pav. Vidutinio važiavimo greičio priklausomybės nuo kelio dangos būklės nustatymas (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.6. Identification of the dependence of average driving speed on the road surface condition (compiled by the author)

Informacija apie vidutinius TP važiavimo greičius Lietuvoje gaunama iš eismo intensyvumo skaitiklių (EII). EII atlieka šias funkcijas (Sivilevičius *et al.* 2012):

- skaičiuoja pravažiuojančius automobilius per numatytus laiko intervalus arba nepertraukiamai;
- klasifikuoja transporto priemonės į klases. Skaitiklis suskaičiuoja TP ašių skaičių bei atstumą tarp jų ir pagal tai vykdomas klasifikavimas;
- išmatuoja transporto priemonių važiavimo greitį.

Informacija apie kelių dangos būklę yra gaunama iš KOS stočių duomenų. Klimatinės informacijos apdorojimo pagrindas – sudaromos meteorologinių stebėjimų duomenų lentelės.

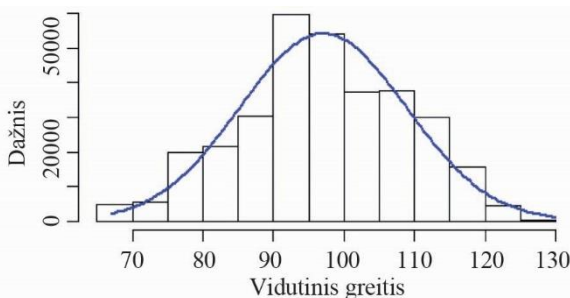
Siekiant ištirti TP važiavimo greičio priklausomybę nuo kelio dangos būklės, buvo nagrinėjami 2015 metų duomenys iš EII ir KOS įrenginių pateiktų 3.6 lentelėje. Analizei atlikti buvo naudojami statistinė programa „R“ bei „Microsoft Excel“.

3.6 lentelė. Eismo intensyvumo skaitikliai ir kelių oro sąlygų stotelės naudotos transporto priemonių greičio nuo kelio dangos būklės nustatymui

Table 3.6. Traffic intensity and RWIS units used for identifying the vehicle speed by road surface condition

EII		KOS		Kelio Nr.	Kelio pavadinimas	Vieta, km
RNG_ID	Pavadinimas	Pavadinimas	RNG_ID			
1698	Šalnaičiai	Saločiai	1129	A10	Panevėžys–Pasvalys– *Ryga	62
1541	Repšiai	Kužiai	1006	A11	Šiauliai–Palanga	19
25	Kalnujai	Kalnujai	361	A1	Vilnius–Kaunas–Klaipėda	170
27	Gargždai	Gargždai	1204	A1	Vilnius–Kaunas–Klaipėda	289
621	Gynėvė	Gynėvė	1183	A1	Vilnius–Kaunas–Klaipėda	142
1842	Kybartai	Kybartai	1061	A7	Marijampolė–Kybartai– *Kaliningradas	39
* – iki Lietuvos Respublikos valstybės sienos.						

Prieš atliekant duomenų statistinę analizę iš turimos duomenų imties buvo pašalintos tos eilutės, kurioms nebuvo stebimos kintamojo reikšmės bei išskirtys. Atlikus statistinę modeliuojamo kintamojo (vidutinio greičio) duomenų analizę buvo gauta, kad rodiklio vertės pasiskirsčiusios intervale (90; 120). Nustatyta, kad duomenų aritmetinis vidurkis yra 107,60, o vidurkio pasikliautinis intervalas, esant $p = 0,95$ patikimumui yra (92; 122). Vertinant priimta, kad šios reikšmės yra pasiskirsčiusios pagal normaliojo skirstinio dėsnį (Shapiro testo prie nulinės hipotezės, kad duomenys yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį p – reikšmė lygi 0,1631) (3.7 pav.).



3.7 pav. Vidutinio važiavimo greičio histograma

Fig. 3.7. The average driving speed histogram

Siekiant nustatyti tiesinę priklausomybę, buvo sudarytas tiesinės regresijos modelis, pateiktas žemiau:

$$Y_{vid_greitis} = C + \beta_1 X_{sukib} + \beta_2 X_{vandens} + \beta_3 X_{sniego} + \beta_4 D_{ledas} + \beta_5 D_{sniegas}, (3.6)$$

čia $Y_{vid_greitis}$ – vidutinis greitis; X_{sukib} – kelio dangos sukibimo koeficientas; $X_{vandens}$ – vandens sluoksnio storis; X_{sniego} – sniego sluoksnio storis; D_{ledas} – žymimasis kintamasis, įgyjantis reikšmę 1, kai kelio dangos būklė turi reikšmę „Aplėdėjusi“; $D_{sniegas}$ – žymimasis kintamasis, įgyjantis reikšmę 1, kai kelio dangos būklė turi vieną iš reikšmių „Apsnigta“, „Pažliugęs sniegas“, „Sniegas“ ir 0 kitu atveju.

Būtina regresinės analizės metodo taikymo sąlyga – tiesinė rezultato priklausomybė nuo parametrų, monotoniškumas, o metodo tinkamumas įvertinamas pagal determinacijos koeficiento (R^2) vertę. Koeficiento vertė artima vienetui reiškia modelio tiesiškumą. Praktikoje dažnai reikalaujama, kad tiesinio modelio determinacijos koeficientas būtų ne mažesnis, kaip 0,6–0,7.

3.7 lentelė. Transporto priemonių greičio priklausomybė nuo kelio dangos būklės

Table 3.7. The dependence of vehicle speed on the road surface condition

	Parametro reikšmė	P-reikšmė
C	99,051	<0,05
β_1	10,52	0,00386
β_2	-5,142	0,10529
β_3	-2,286	0,39617
β_4	-6,985	<0,05
β_5	-9,178	<0,05

Gauti rezultatai pateikti 3.7 lentelėje. Modelio determinacijos koeficientas $R^2 = 0,849$. Iš rezultatų matyti, jog esant įprastoms eismo sąlygoms vidutinis greitis yra 99,05 km/h. Taip pat gauta, jog esant aplėdėjusiai kelio dangos būklei vidutinis greitis statistiškai reikšmingai sumažėja 6,99 km/h, kai tuo tarpu apsnigta kelio danga vidutinį važiavimo greitį mažina 9,18 km/h.

3.3.3. Transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų vertinimas

Geresnė kelių priežiūra užtikrina geresnes eismo sąlygas, didesnius greičius ir tolygesnį važiavimą. To rezultate sumažėja kuro ir kitos transporto priemonių eksploatacinės sąnaudos (Laurinavičius, Žilionienė 2001; Miškinis, Lingaitis 2006). Tačiau

žiemos priežiūros metu naudojamos druskos turi ir neigiamą efektą automobiliams – pagreitėja jų korozija. Tiek vieną, tiek kitą efektą įvertinti labai sudėtinga, todėl šiame darbe apsiribota įvertinti TP eksploatacines sąnaudas per kuro sąnaudų nuostolius, patiriamus esant slidžiai (apledėjusiai ar apsningtai) kelio dangos būklei.

Kuro sąnaudų augimą stipriai įtakoja sudėtingos žiemiškos važiavimo sąlygos. Net idealiai atliekant KDPŽ, dėl žemesnių oro temperaturų ir kitų niuansų TP degalų sąnaudas žiemą padidėja apie 10 %. Kuro sąnaudos neišvengiamai padidėja dėl sutirštėjusių tepalų, kuriems išjudinti reikalingas ilgesnis ir sunkesnis variklio darbas. Tepalų yra ir pavarų dėžėje, ratuose. Tuščio variklio darbas, šildant jį patį ir saloną, taip pat padidina degalų sąnaudas.

Tačiau daugiausia kuro sąnaudas žiemą lemia važiuojamosios kelio dangos būklė, kuomet dėl gausaus sniego ir esant apledėjimui sunku išlaikyti pastovų greitį (tenka stabdyti ir greitėti, praslysta ratai), ko pasekoje TP kuro sąnaudos gali padidėti net iki 50 %. Užsienio šalių mokslininkai atliko daug mokslinių tyrimų siekiant nustatyti kelių oro sąlygų įtaką TP kuro sąnaudoms (Transportation... 2003; Sheflin 1981) ir ekspertai įrodė, kad slidi kelio danga kuro sąnaudas padidina vidutiniškai 33 %.

TP eksploatacinės išlaidos susijusias su kuro sąnaudų padidėjimu, dėl slidžių kelio dangos būklės sąlygų, galima apskaičiuoti taip:

$$EI_S = \frac{MNK_i}{VKS_i \cdot 0,67} \cdot \frac{t_p}{24} \cdot LKK_{Eur}, \quad (3.7)$$

čia EI_S – TP eksploatacinės išlaidos (esant slidžiai kelio dangai žiemą), Eur; t_p – slidžios kelio dangos būklės trukmė, val.; MNK_i – milijonai nuvažiuotų i tipo (lengvieji automobiliai, sunkusis transportas) TP kilometrų, mln. km; VKS_i – vidutinės i tipo (lengvieji automobiliai, sunkusis transportas) kuro sąnaudos, litrai/100 km; LKK_{Eur} – vidutinė kuro litro kaina, Eur; 0,67 – vidutinių TP kuro sąnaudų, dėl slidžios kelio dangos būklės, koeficientas (33 % TP kuro ekonomijos sumažėjimas).

Esant normalioms kelio dangos sąlygoms žiemą TP eksploatacinės išlaidos susijusios su kuro sąnaudomis galima apskaičiuoti taip:

$$EI_N = \frac{MNK_i}{VKS_i \cdot 0,67} \cdot \frac{t_n}{24} \cdot LKK_{Eur}, \quad (3.8)$$

čia EI_N – TP eksploatacinės išlaidos (esant normalioms kelio dangos sąlygoms žiemą), Eur; t_n – normali kelio dangos būklės trukmė, val.; MNK_i – milijonai nuvažiuotų i tipo (lengvieji automobiliai, sunkusis transportas) TP kilometrų, mln. km; VKS_i – vidutinės i tipo (lengvieji automobiliai, sunkusis transportas) kuro sąnaudos, litrai/100 km; LKK_{Eur} – vidutinė kuro litro kaina, Eur.

3.7 ir 3.8 formulėmis atskirai apskaičiuojami lengvojo ir sunkaus transporto eksploatacinės išlaidos esant slidžiai ir normaliai kelio dangos būklėmis.

Tačiau nagrinėjant tokią sudėtingą sistemą, kaip automobilių eismas, kurios būklė ir sudėtis nuolat kinta, net šiais aukštų technologijų laikais įvertinti visus veiksnius, bei surinkti visus reikalingus duomenis nėra nei praktinės galimybės, nei ekonomiškai tikslinga tai atlikti. Todėl tolimesniame darbe transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų skaičiavimo atsisakys.

3.3.4. Aplinkosauginis vertinimas

Efektyvi kelių transporto sistema skatina ekonomikos augimą, tačiau neišvengiamai veikia aplinką tiek statybos ir modernizavimo, tiek kelių eksploatacijos metu. Iš atliktos analizės pirmame skyriuje matosi, kad automobilių kelių transporto sektorius ypatingai svarbus visoje ES, nes jo vystymas didina darbuotojų produktyvumą, dėl to kyla darbuotojų pajamos ir jų gyvenimo standartai. Automobilių kelių transporto sistema prisideda prie ekonomikos augimo, tačiau kartu neigiamai veikia aplinką ir žmonių sveikatą.

Igyvendinant Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos *Kioto* protokole atskiroms valstybėms apibrėžtus tikslus, Lietuva ir toliau turi užtikrinti, kad valstybės mastu šiltnamio efektą sukeliančių dujų (toliau – ŠESD) emisijos mažės, tačiau prognozuojant automobilių transporto CO₂ emisijos pokyčio tendenciją, neįmanoma išvengti neapibrėžtumo: augant ekonomikai, didėja gyventojų perkamoji galia, o tai sąlygoja krovinių pervežimų ir gyventojų judumo poreikių didėjimą. Faktinis ŠESD emisijos iš autotransporto dydis ateityje priklausys ir nuo politinių, teisinių, finansinių ir administracinių priemonių, sąlygojančių automobilių parko atnaujinimą, alternatyvių degalų naudojimo plėtrą, energetinio efektyvumo transporte didėjimą. Pagal Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos metodologiją transporto sektoriaus ŠESD emisijos yra priskiriamos energetikos sektoriuje, nes jame ŠESD emisijos susidaro dėl energijos vartojimo. Lietuvos transporto politika atspindi dvejose pagrindinėse strategijose: Nacionalinėje darniojo vystymosi strategijoje ir Ilgalaikėje (iki 2025 m.) Lietuvos transporto sistemos plėtros strategijoje. Ilgalaikėje (iki 2025 metų) Lietuvos transporto sistemos plėtros strategijoje (2005) akcentuojama transporto plėtra ir aplinkosauga. Aplinkosaugos srityje valstybė turi kontroliuoti ir reguliuoti poveikį aplinkai, raginti ūkio subjektus ir valstybės institucijas vykdyti neigiamo poveikio aplinkai ir žmonių sveikatai prevenciją.

Pastaraisiais dešimtmečiais nuolat augantys krovinių ir keleivių srautai ir siekis tuo pat metu laikytis griežtų aplinkosaugos reikalavimų iš principo prieštarauja vienas kitam. Ypač pastaraisiais dešimtmečiais nuolat augant šalių ekonomikoms ir vis didėjant energetiniams poreikiams (deginant iškastinį kurą) sukėlė globalinius atmosferos pokyčius, susijusius su ozono skylėmis ir visuotiniu atšilimu, potvyniais, oro užterštumu. Siekiant pristabdyti šiuos globalinius neigiamus procesus dauguma užsienio šalių prisiėmė atsakomybę nuolatos mažinti priklausomybę nuo

iškastinio kuro ir nuolatos griežtinti aplinkosauginius reikalavimus. Pastaraisiais dešimtmečiais mokslininkai atliko daugybę mokslo darbų sprendžiant klausimus susijusius su transporto energetikos problemomis (Ambrazevičius, Baublys 2001; Ballesta *et al.* 2008). Tačiau norint sėkmingai sumažinti neigiamą transporto poveikį, reikia ieškoti efektyvių sprendimų įvairiuose srityse, tiek tobulinant pačių TP technines charakteristikas (elektromobiliai, vandenilio energetika ir pan.) tiek ieškant optimalių sprendimų jau šiandien, gerinant automobilių priežiūros kokybę žiemą. Infrastruktūros priežiūrą ateityje būtina planuoti taip, kad teigiamas poveikis ekonominiam augimui būtų kuo didesnis, o neigiamas poveikis aplinkai – kuo mažesnis. Baltojoje knygoje išskiriama pagrindinė mintis – transporto sistemos reikšmingumas ES ekonomikai bei jos subalansuotumas: moderni transporto sistema turi būti subalansuota ekonomine ir socialine, taip pat ir aplinkosaugine prasme.

Pagrindiniai neigiami transporto veiklos veiksniai yra:

- oro tarša įvairiomis kenksmingomis medžiagomis;
- triukšmas;
- vandens telkinių tarša;
- energetinių (neatsinaujinančių) resursų naudojimas (švaistymas).

Tačiau ne visus šiuos veiksnius, galima tiesiogiai susieti su priežiūra žiemą. Oro tarša yra viena iš didžiausių problemų susijusių su automobilių transportu, turinti įtakos žmonių sveikatos būklei (Samodurova *et al.* 2010). Siekiant tarptautinių ir nacionalinių tikslų gerinti oro kokybę, KDPŽ gali prisidėti mažinant orą teršiančių medžiagų išmetimus, įgyvendinant priemones, mažinančias kelio dangos slidumą ir tuo pačiu mažinančias kuro sąnaudas.

Eksplatuojant kelią oro taršos šaltinis yra juo judantis autotransporto srautas. 1998 m. liepos 13 d. paskelbtame įsakyme dėl teršiančių medžiagų, išmetamų į atmosferą iš mašinų su vidaus degimo varikliais, vertinimo metodikos patvirtinimo reglamentuojama teršiančių kenksmingų medžiagų, išskiriamų vidaus degimo varikliais varomų transporto priemonių, skaičiavimo metodika. Pagal šią metodiką galima nustatyti mašinų, turinčių vidaus degimo variklius, išmetamų į atmosferą teršalų kiekį. Apskaičiuojama teršalų (anglies monoksido (CO), anglies dioksido (CO₂), angliavandenilių (CH), azoto oksidų (NO_x), sieros dioksido (SO₂) ir kietų dalelių (KD)) masė, sudegus benzinui, dyzeliniam kurui, suskystintoms naftos ir suslėgtoms gamtinėms dujoms vidaus degimo varikliuose.

Įsakyme pateiktos metodinės formulės, skirtos transporto priemonių teršiančių medžiagų kiekio apskaičiavimui bei koeficientų reikšmių nustatymui. Įsakyme taip pat pateiktos koeficientų reikšmės, reikalingos skaičiavimams.

Dokumente nurodyta pagrindinė formulė, skirta automobilių, traktorių ir kitų savaeigių bei nesavaeigių ir stacionarių mašinų su vidaus degimo varikliais išmetamų į atmosferą teršiančių medžiagų bendram kiekiui apskaičiuoti (3.9 formulė):

$$W = \sum^k \sum^i W_{k,i} , \quad (3.9)$$

čia W – bendras teršalų kiekis; $W_{k,i}$ – k -tosios teršiančios medžiagos kiekis sudegus i -tosios rūšies degalams; k – teršiančios medžiagos: CO, HC, NO_x, SO₂, kietosios dalelės; i – degalų rūšys: benzinas, dyzelinis kuras, suskystintos naftos dujos, suslėgtos gamtinės dujos.

Išorinės oro taršos sąnaudos = taršos faktoriaus tipas \times taršos faktoriaus tipo įvertis.

Atliekant išorinių taršos kaštų vertinimą buvo susidurta su problema, kad nėra patikimų statistinių duomenų apie taršos dydį sukeliamą transporto priemonių atskiruose šalies miestuose bei regionuose. Tokie duomenys buvo surinkti tik už 2006 m.

Atliekant šių kaštų įvertinimą taip pat vadovautasi prielaida, kad tarša priklauso nuo šalyje įregistruotų transporto priemonių skaičiaus. Įvertinus šias prielaidas, buvo sudaryta duomenų 3.8 lentelė.

3.8 lentelė. Oro taršos duomenys Lietuvoje

Table 3.8. Air pollution data in Lithuania

Bendra emisija 2006, tūkst. tonų	Pagrindiniai komponentai, tūkst. tonų		Registruotų transporto priemonių skaičius	Vidutinė metinė 1 transporto priemonės sąlygojama tarša, kg	Vidutinė metinė 1 transporto priemonės tarša (atskiri komponentai), kg	
135,8	NO _x	40,1	1781686	0,0762	NO _x	0,0221
	SO ₂	3,8			SO ₂	0,0021
	KD	2,4			KD	0,0013

Nuostoliai dėl medžiagų emisijos įvertinami pagal galiojančius oro teršalų emisijos žalos aplinkai atlyginimo tarifus (Automobilių... 2015).

3.9 lentelė. Oro taršos įkainiai Lietuvoje (Automobilių... 2015)

Table 3.9. Air pollution costs in Lithuania (Automobilių... 2015)

Teršalų pavadinimas	Gyvenvietės teritorijoje (Eur/tonai)	Ne gyvenvietės teritorijoje (Eur/tonai)
NO _x	3123	
O ₃	602	
SO ₂	2163	
PM _{2,5}	192159	38432

Priežiūros išlaidas sudaro kelio dangos priežiūros darbų kaina. Darbų kaina buvo apskaičiuota pagal automobilių kelių priežiūros ir remonto ekonominiuose normatyvuose EN–06 (Kelių... 2008) (ir pasikeitimus transporto sektoriuje 2008–2009 m.) patvirtintas sustambintų mato vienetų (SMV) kainas visoms priežiūros darbų rūšims. SMV dangoms yra 1000 m².

Vieno kilometro kelio dangos priežiūros kaina lygi:

$$P = P_{SMV} \cdot H \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (3.10)$$

čia P – 1 km kelio dangos priežiūros kaina, Eur; P_{SMV} – priežiūros normatyvas sustambintam mato vienetui, Eur/1000 m²; H – kelio dangos koeficientas; K_1 – koeficientas, įvertinantis mokesčius, socialinį draudimą, PVM, pelną ($K_1 = 1,459$); K_2 – koeficientas, įvertinantis priežiūros darbų kainų pokytį 2011–2014 m. ($K_2 = 1,141 \cdot 1,115 \cdot 0,951 \cdot 0,941 = 1,138$).

Ekonomiškai optimalus priežiūros lygis – toks, kuriam esant visuomenės išlaidos (kelio priežiūros ir kelio naudotojų išlaidų suma) yra mažiausios. Kelio naudotojų išlaidas sudaro kelių transporto priemonių eksploatacinės sąnaudų bei kelionės laiko gaišties išlaidų suma.

Nagrinėjant tokią sudėtingą sistemą, kaip automobilių eismas, kurios būklė ir sudėtis nuolat kinta, net šiais aukštų technologijų laikais įvertinti visus aplinkosauginius veiksnius darančius įtaką bendrosioms visuomenės išlaidoms yra sudėtinga, nes šiuo metu Lietuvoje renkami ir kaupiami ne visi duomenys reikalingi ekonomiškai įvertinti aplinkosauginius veiksnius. Tik žinant visus modeliuojamam dydžiui įtakos turinčius veiksnius, galima tikėtis absoliučiai tikslaus rezultato. Todėl aplinkosauginių veiksmų vertinimo atsisakyta.

3.4. Trečiojo skyriaus išvados

1. Sudarytas teorinis Lietuvos automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelis, remiantis Švedijoje sukurto „*Žiemos modelio*“ (angl. „*Winter Model*“) pagrindiniais principais, įvertinančiais socialinius ir ekonominius veiksnius, atsižvelgiant į tiesiogines išlaidas eismo dalyviams ir bendrą ekonominę naudą visuomenei.
2. Didžiausią įtaką kelio naudotojų patiriamoms išlaidoms žiemą turi kelio važiuojamosios dangos būklė. Todėl sudaryto teorinio automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelio taikymas skirtas šiam kelio elementui.
3. Siekiant ekonomiškai pagrįstai taikyti kelių priežiūros žiemą lygius buvo atsižvelgta į Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių funkcinę paskirtį.

4. Sudarytam teoriniam automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modeliui nustatytos reikalingos įverčių reikšmės, turinčios didžiausią įtaką kelio naudotojų tiesioginėms išlaidoms: saugaus eismo, kelionės laiko, transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų ir aplinkosauginės.
5. Atlikus 2010–2014 metų avaringumo duomenų analizę valstybinės reikšmės automobilių keliuose nustatyta, kad šiltuoju metų laiku įskaitinių eismo įvykių sumažėjo 36 %, tačiau tuo pačiu laikotarpiu šaltuoju metų laiku avaringumo situacija išliko pastovi.
6. Norint gauti ekonomiškai tikslų rezultatą nustatant visuomenės poreikius lemiančius veiksnius, reikia žinoti visus modeliuojamam dydžiui įtakos turinčius veiksnius. Tačiau nustatant aplinkosauginius ir transporto priemonių eksploatacinius sąnaudų įverčius, buvo susidurta su problema, kad nėra patikimų statistinių duomenų apie šiuos veiksnius. Atliekant išorinių taršos kaštų vertinimą buvo nustatyta, kad patikimi statistiniai duomenys apie taršos dydį, sukliamą transporto priemonių, Lietuvoje yra tik iki 2006 metų.
7. Atlikus transporto priemonių greičio priklausomybės nuo kelio dangos būklės statistinę duomenų analizę Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose žiemą nustatyta, kad esant apledėjusiai kelio dangai vidutinis greitis statistiškai reikšmingai sumažėja 6,99 km/h, kai tuo tarpu apsnigta kelio danga vidutinį važiavimo greitį mažina 9,18 km/h. Kelio dangos būklės poveikis transporto priemonių mobilumui išreiškiamas gais-timi, spūstimis, sumažėjusiu vidutiniu važiavimo greičiu ir srauto apimtimi, bei eismo intensyvumu, kas tiesiogiai įtakoja kelių naudotojų patiriamus nuostolius. Todėl būtina nuolat vertinti atliekamos kelių priežiūros žiemą kokybę, optimizuoti kelių priežiūros žiemą parinkimo metodiką ir naudo-jamas medžiagas.

Priežiūros žiemą optimizavimo galimybės Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliuose

Įvertinus atliktų eksperimentinių tyrimų rezultatus atliktas valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimas sudarytu modeliu. Įvertinti valstybinės reikšmės kelių žiemos priežiūros naudos komponentai – eismo įvykių nuostolių ir kelionės laiko santaupos, kurie tiesiogiai priklauso nuo naudos gavėjų (kelių naudotojų) skaičiaus. Kuo didesnis keliu vykstančio eismo intensyvumas, tuo daugiau naudos gavėjų, tuo didesnė kelio teikiama nauda, o kartu – ir kelio priežiūros teikiama nauda. Atlikus rezultatų vertinimą, pateiktas optimalus kelių priežiūros žiemą lygių taikymas ir pasiūlyta ekonomiškai pagrįsta kelių priežiūros žiemą strategija Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose.

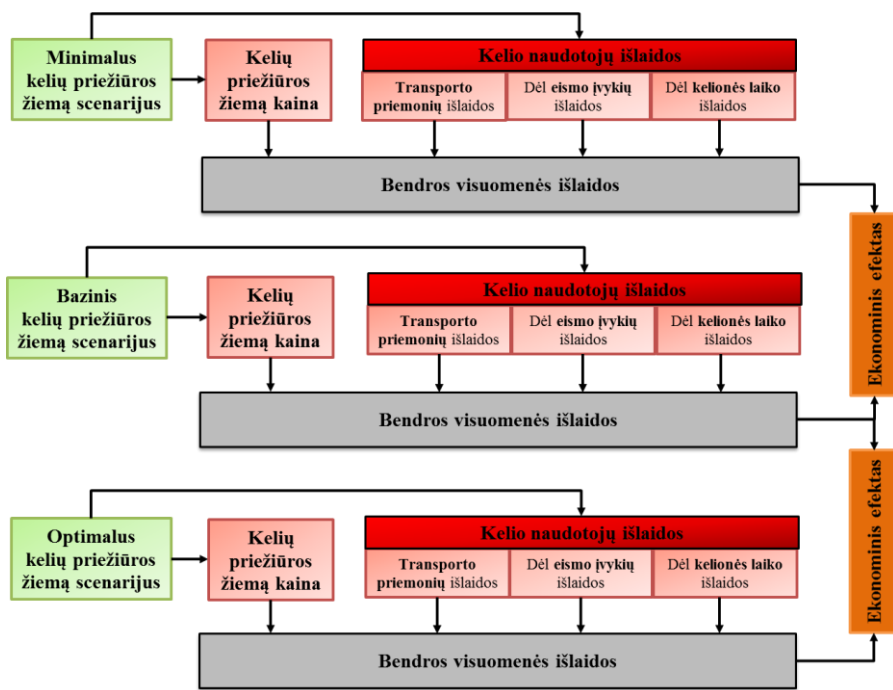
Skyriaus tematika paskelbtas straipsnis Laurinavičius *et al.* (2014).

4.1. Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelio tikslinimas pagal eksperimento rezultatus

Siekiant atlikti kelių priežiūros lygių vertinimą reikia atlikti kaštų (priežiūros kainos) ir naudos (kurią sudaro kelio naudotojų sumažėjusios išlaidos) analizę. Nustatant kokį ekonominį efektą daro kelių priežiūros kokybė, įprasta analizuojamą veiklą, jos kaštus ir pasekmes lyginti su tam tikra „nuline“, nieko nedarymo alternatyva. Tai taikoma ir skaičiuojant kelių priežiūros žiemą naudą – nauda skaičiuojama kaip transporto priemonių kelionės trukmės, automobilių eksploatacinių išlaidų ir eismo įvykių nuostolių sumažėjimas dėl to, kad vykdoma žiemos priežiūra. Kuo aukštesnis priežiūros lygis, tuo mažesni kelionės kaštai (ir nuostoliai), tuo didesnės santaupos. Tačiau sunku įsivaizduoti valstybinės reikšmės kelią, kurių priežiūra visą žiemą išvis nebūtų atliekama – toks katastrofiškas scenarijus valstybinės reikšmės keliuose vargu ar įmanomas. Todėl šiame darbe nuspręsta vertinti esamus priežiūros lygius, taikytus 2011–2014 metų žiemos sezonais (toliau – bazinis KDPŽ scenarijus) ir lyginti su dvejais alternatyviais scenarijais: minimalių KDPŽ kaštų scenarijus (toliau – minimalus KDPŽ scenarijus), kuomet visas kelių tinklas prižiūrimas žemiausiu III priežiūros lygiu ir scenarijus, kuriame kelių priežiūros lygiai parinkti įvertinant kelių funkcinę priklausomybę, bendrą ir sunkiojo transporto eismo intensyvumus (toliau – optimalus KDPŽ scenarijus) (4.1 pav.).

Remiantis mažiausių visuomenės išlaidų principu, siekiant nustatyti tam tikro kelio elemento ar darbo optimalų priežiūros lygį, reikia:

- apskaičiuoti tam tikro kelio elemento priežiūros, arba priežiūros darbų rūšies kainą prie įvairių priežiūros lygių;
- nustatyti, kokioms kelio naudotojų išlaidoms – transporto priemonių eksploatacinėms išlaidoms, laiko, ar eismo įvykių nuostoliams, kelio elemento priežiūra arba priežiūros darbų rūšis turi įtakos;
- apskaičiuoti kelio naudotojų išlaidas esant skirtingiems tam tikro kelio elemento arba priežiūros darbų rūšies priežiūros lygiams;
- nustatyti, prie kurio priežiūros lygio suminės kelio elemento priežiūros ir kelio naudotojų išlaidos yra mažiausios; tas priežiūros lygis ir bus optimalus tam elementui ar priežiūros darbų rūšiai. Tai yra, prižiūrint tą kelio elementą tokiu lygiu, visuomenės išlaidos bus mažiausios, o prižiūrint jį kitu (kad ir aukštesniu) priežiūros lygiu, visuomenė patirs nuostolius.



4.1 pav. Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelio schema (sudaryta autoriaus)

Fig. 4.1. The scheme of winter road maintenance levels assessment model (compiled by the author)

Ekonomiškai optimalių priežiūros lygių parinkimui reikalinga apskaičiuoti tam tikrus ekonominius rodiklius – priežiūros kainą ir kelio naudotojų išlaidas. Buvo nustatyta, kad ekonomiškai optimalius priežiūros lygius galima apskaičiuoti tik vienam kelio elementui – dangai. Būtent nuo kelio dangos priežiūros žiemą priklauso kelio naudotojų TP, kelionės laiko ir eismo įvykių patiriamos išlaidos. Kitiems kelio elementams priežiūros lygis parenkamas analogiškas dangai arba vadovaujantis inžineriniais – techniniais ar administraciniais motyvais (4.1 pav.).

4.1.1. Valstybinės reikšmės kelių priežiūros žiemą kaštai

Atlikus eksperimentinių tyrimų rezultatų vertinimą nuspręsta tolimesniuose skaičiavimuose naudoti Lietuvoje taikomų tradicinių kelių priežiūros žiemą technologijų ir medžiagų kaštus (Kelių... 2015). Modelyje valstybinės reikšmės kelių priežiūros žiemą kaštai priimti pagal 2011–2014 metų LAKD pateiktus duomenis (4.1 lentelė).

4.1 lentelė. Nuolatinėi priežiūrai žiemą 1 km per mėn. tenkanti suma, Eur (Lietuvos... 2014)

Table 4.1. Continuous winter maintenance 1 km per month cost sum, EUR (Lietuvos... 2014)

Priežiūros lygiai	Magistraliniai keliai		Krašto keliai	Rajoniniai keliai
	2-jų važ. dalių	1-os važ. dalies		
I – aukštas	2317,8	1421,8	853,1	229,1
II – vidutinis	1459,5	895,3	430,8	163,9
III – žemas	695,5	426,6	206,4	133,4

Modeliuojat taikyta prielaida, kad kelių priežiūros žiemą kaštai priklauso tik nuo pasirinkto priežiūros lygio, bet nepriklauso nuo eismo intensyvumo (4.2 lentelė).

4.2 lentelė. Modelyje taikytos nuolatinės 1 km kelio priežiūros žiemą kainos (kaštai), Eur per metus (sezoną) (Lietuvos... 2014)

Table 4.2. The continuous prices (costs) applied in the model for 1 km of winter road maintenance, EUR per year (season) (Lietuvos... 2014)

Priežiūros lygiai	Magistraliniai keliai		Krašto keliai	Rajoniniai keliai
	2-jų važ. dalių	1-os važ. dalies		
I – aukštas	13907,0	8530,9	5118,5	1374,5
II – vidutinis	8757,0	5371,7	2584,9	983,1
III – žemas	4172,7	2559,7	1238,1	800,7

4.1.2. Eismo intensyvumas ir rida žiemos sezono metu

Eismo intensyvumo duomenys gauti iš kasmetinių VĮ Kelių ir transporto tyrimo instituto eismo tyrimų ataskaitų. Jais remiantis nustatyta vidutinė 2011–2014 m. automobilių rida valstybinės reikšmės keliuose. Modeliuojant naudota automobilių vidutinė dienos rida valstybinės reikšmės keliuose 2011–2014 m. žiemos sezonų metu pateikta 4.3 lentelėje. Nustatant automobilių ridą valstybinės reikšmės keliuose žiemos sezono metu įvertinta tai, kad žiemos sezono metu vidutinis paros eismo intensyvumas yra mažesnis už vidutinį metinį paros eismo intensyvumą VMPEI.

4.3 lentelė. Automobilių vidutinė dienos rida valstybinės reikšmės keliuose žiemos sezono metu, mln. aut. km

Table 4.3. The average daily amount of km covered by vehicles on national roads in the winter season, mln vehicle km

Kelio funkcinė reikšmė	Vidutinė dienos rida, mln. aut. km	Vidutinio paros eismo intensyvumo žiemos metu santykis su VMPEI	Vidutinė dienos rida žiemos sezono metu, mln. aut. km
Europinė	8,20	0,89	7,27
Euro Regioninė	3,76	0,90	3,38
Nacionalinė	5,30	0,87	4,58
Regioninė	8,51	0,88	7,49
Rajoninė	5,31	0,85	4,52
Vietinė	1,55	0,85	1,32
Privažiavimo	0,35	0,85	0,30

4.1.3. Avaringumas žiemos sezono metu

Paprasta įskaitinių eismo įvykių statistika Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose nesuteikia pakankamai informacijos, reikalingos, kad susieti avaringumą žiemą su kelių priežiūros lygiais (4.4 lentelė).

Tačiau jei įvertintume automobilių ridą keliuose, galėtume nustatyti vidutinę eismo įvykių riziką (4.5 lentelė).

4.4 lentelė. Eismo įvykių ir nukentėjusiųjų juose pasiskirstymas žiemos sezono metu 2011–2014 m. valstybinės reikšmės keliuose

Table 4.4. Road accident and fatal accident distribution in the winter season on national roads in 2011–2014

Kelio funkcinė reikšmė	Eismo įvykių pobūdis			Eismo įvykių pasekmės		
	Eį su žuvusiais, vnt.	Eį su sužeistais, vnt.	Viso įskaitiniai Eį, vnt.	Žuvę žm. sk.	Sužeisti žm. sk.	Nenukentę žm. sk.
1	2	3	4	5	6	7
Europinė	40	133	173	51	211	275
Euro Regioninė	25	125	150	28	176	151

4.4 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7
Nacionalinė	48	s203	251	54	339	299
Regioninė	111	516	627	126	802	686
Rajoninė	70	467	537	74	658	461
Vietinė	31	142	173	32	190	151
Privažiavimo	4	37	41	5	47	43

4.5 lentelė. Rizika, tenkanti 1 mlrd. aut. km žiemos sezono metu valstybinės reikšmės keliuose

Table 4.5. Risk per 1 bln vehicle km in the winter season on national roads

Kelio funkcinė reikšmė	Eismo įvykių pobūdis			Eismo įvykių pasekmės		
	Eį su žuvusiais, vnt.	Eį su sužeistais, vnt.	Viso įskaitiniai Eį, vnt.	Žuvę žm. sk.	Sužeisti žm. sk.	Nenukentę žm. sk.
Europinė	7,5	25,1	32,6	9,6	39,8	51,8
Euro Regioninė	4,7	23,6	28,3	5,3	33,2	28,4
Nacionalinė	9,0	38,2	47,3	10,2	63,9	56,3
Regioninė	20,9	97,2	118,1	23,7	151,1	129,2
Rajoninė	13,2	88,0	101,2	13,9	124,0	86,9
Vietinė	5,8	26,8	32,6	6,0	35,8	28,4
Privažiavimo	0,8	7,0	7,7	0,9	8,9	8,1

Nustatyta, kad didžiausia įskaitinių eismo įvykių žiemą rizika tenka Regioninės ir Rajoninės funkcinės reikšmės keliams (atitinkamai 118,1 ir 101,2 įskaitiniai eismo įvykiai milijardui nuvažiuotų km), o mažiausia – Euro Regioninės ir Privažiuojamosios funkcinės reikšmės keliams (atitinkamai 28,3 ir 7,7 įskaitiniai eismo įvykiai milijardui nuvažiuotų km). Didžiausia rizika žūti arba būti sužeistam tenka Regioninės ir Rajoninės funkcinės reikšmės keliams. Tai paaiškinama tuo, kad juose greičiai ženkliai didesni nei Vietinės ir Privažiuojamosios funkcinės reikšmės keliuose, o saugaus eismo sąlygos nusileidžia toms, kurios užtikrinamos Europinės ir Euro Regioninės funkcinės reikšmės keliuose.

Lyginant Europinės ir Euro Regioninės funkcinės reikšmės kelius tarpusavyje, pastebima, kad pastarojoje kelių grupėje eismo įvykio rizika yra mažesnė, nors pirmojoje taikyti aukštesni kelių priežiūros žiemą lygiai (4.5lentelė). Tai galima paaiš-

kinti tuo, kad Euro Regioninės funkcinės reikšmės visuose kelių ruožuose buvo taikyta vienoda kelių priežiūra (vidutinis magistralinis kelių priežiūros lygis), o Europinės funkcinės reikšmės keliuose atskirose kelio atkarpose taikyta skirtinga priežiūra. Pavyzdžiui važiuojant IXB Europiniu transporto koridoriumi (iš Klaipėdos link Kijevo) užtikrinama nepastovi kelių priežiūra žiemą (atkarpoje tarp Vilniaus ir Kauno taikoma aukščiausias priežiūros lygis, likusioje atkarpoje vidutinis priežiūros lygis). Be abejo eismo įvykių rizikai turi įtakos ir nevienodos kelių techninės charakteristikos, kas taip pat gali padidinti eismo įvykių riziką.

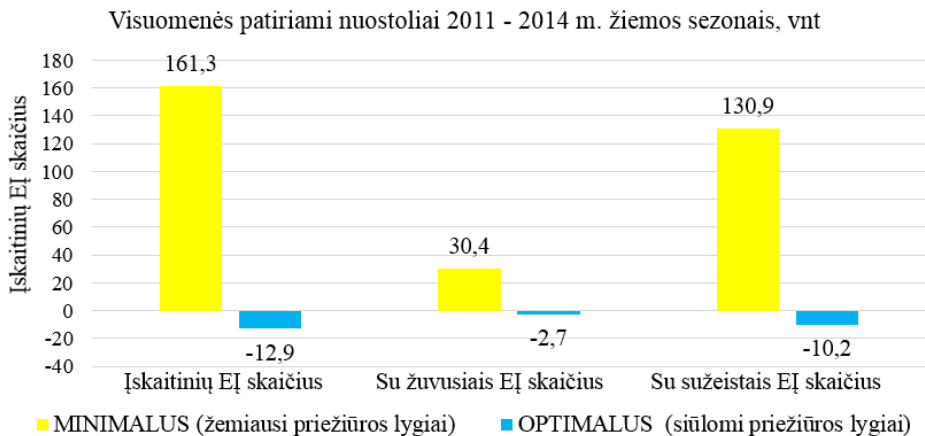
Atkreiptinas dėmesys, kad pradedant nuo 2011 metų, kai didelėje dalyje rajoninių kelių (nuo 1000 iki 1379 km) imtas taikyti I–as rajoninių kelių priežiūros lygis, eismo įvykių rizika žiemą rajoniniuose keliuose bendrai išaugo. Taip greičiausiai atsitiko todėl, kad geresnė kelių priežiūra sudarė sąlygas vairuotojus dažniau neatsakingai viršyti greitį. Analizė rodo, kad keliuose, kuriuose imtas taikyti aukštesnis priežiūros lygis, avaringumas žiemą išaugo apie 20 % (4.6 lentelė).

Remiantis atlikta analize buvo nustatyta vidutinė eismo įvykių rizika vertinant 2011–2014 m. žiemos sezonais taikytus kelių priežiūros lygius, kuri modelyje laikoma baziniu scenarijumi. Taikant kitus priežiūros lygius magistraliniuose ir krašto keliuose eismo įvykių rizika priimta remiantis skandinavų patirtimi, t. y., kad padidinus priežiūros kokybę vienu lygiu, eismo įvykių rizika sumažėja 12 %, o pamažinus vienu lygiu rizika atitinkamai padidėja. Rajoniniuose keliuose, atsižvelgiant į anksčiau minėtas tendencijas, taikytos šiek tiek kitos prielaidos (4.6 lentelė).

4.6 lentelė. Priežiūros lygių poveikis avaringumui (2011–2014 m. taikyti kelių priežiūros žiemą lygiai laikomi baziniu scenarijumi)

Table 4.6. The impact of maintenance levels on the accident rate (the winter road maintenance levels applied in 2011–2014 are considered to be the basic scenario)

KDPŽ lygis	Magistraliniai ir krašto keliai			Rajoniniai keliai		
	Techniniai EĮ	EĮ su žuvusiu	EĮ su sužeistu	Techniniai EĮ	EĮ su žuvusiu	EĮ su sužeistu
2 lygiais žemesnis	+24 %	+24 %	+24 %	+5 %	+5 %	+5 %
1 lygiu žemesnis	+12 %	+12 %	+12 %	–5 %	–5 %	–5 %
Bazinis	Esami priežiūros lygiai			Esami priežiūros lygiai		
1 lygiu aukštesnis	–12 %	–12 %	–12 %	+20 %	+20 %	+20 %



4.2 pav. Modelyje nustatytas prognozuojamas eismo įvykių skaičius, nuo 2011–2014 m. žiemos sezonais taikomų KDPŽ lygių scenarijų

Fig. 4.2. The expected road accident amount identified by the model (the winter road maintenance level scenarios applied in 2011–2014 winter seasons)

Poveikio eismo įvykių skaičiui dėl taikomo KDPŽ lygių scenarijaus, rezultatai pateikti 4.2 paveiksle.

Skaiciuojant eismo įvykių rizikos sumažėjimo (santaupų) ekonominę naudą, taikyti eismo įvykių nuostolių įkainiai iš „Automobilių kelių investicijų vadovo“, t. y., kad išvengus vieno eismo įvykio su sužeistais žmonėmis, išvengiama nuostolių, kurių ekonominė vertė sudaro 54,2 tūkst. Eur, o išvengus eismo įvykio su žuvusiais – išvengiama nuostolių, kurių vertė sudaro 586,9 tūkst. Eur. Taip pat vertinti ir techniniai eismo įvykiai. Priimta, kad techninių eismo įvykių keliuose bus tiek pat, kiek ir įskaitinių (t. y. techninių eismo įvykių skaičius lygus įskaitinių eismo įvykių skaičiui). Priimta techninio eismo įvykio metu patiriamų nuostolių kaina – 1,7 tūkst. Eur.

Kaip jau minėta, kelių priežiūra užtikrina geresnes eismo sąlygas, nei be priežiūros, sumažina eismo įvykių riziką ir nuostolius (kaštus). Šis eismo įvykių kaštų sumažėjimas ir yra vienas iš priežiūros teikiamos naudos komponentų – eismo įvykių santaupos/nuostoliai. 4.10 lentelėje pateikti modelio rezultatai rodo, kad 2011–2014 metų šaltuoju metu laikant KDPŽ žemiausiais priežiūros lygiais, visuomenės išlaidos dėl eismo įvykių išaugtų iki daugiau nei 25,3 mln. Eur. Tačiau KDPŽ minėtu laikotarpiu vykdant optimaliais (pasiūlytais) priežiūros lygiais, būtų sutaupyta daugiau kaip 2,2 mln. Eur, bei išvengta beveik 13 įskaitinių eismo įvykių (4.2 pav.).

4.1.4. Automobilių srauto greitis ir kelionės trukmė žiemos sezono metu

Transporto ekonomikoje kelionės laikas gali būti išreiškiamas pinigine išraiška. Kelionėje sugaištas laikas individo požiūriu yra kaštai, nes tuo metu jis negali atlikti kitos veiklos. Sugaišto laiko vertė priklauso nuo to, ką individas gali sukurti per tą laiką. Be to, dar įvertinami krovinio transportavimo laiko kaštai. Kelionėje sugaištas laikas krovinio požiūriu yra kaštai, nes tuo metu krovinyms negali būti naudojamas, prekės gali prarasti dalį savo vertės, vežėjui už vėlavimą pristatyti krovinių/prekės gali būti taikomos nuobaudos, taip pat turi būti mokamas atlyginimas krovinių transporto priemonės vairuotojui.

4.7 lentelė. Vidutinis automobilių srauto judėjimo greitis žiemos sezono metu

Table 4.7. The average vehicle traffic flow speed during the winter season

Metai	Magistraliniai keliai			Krašto keliai	Rajoniniai keliai
	automagistralės	kiti 2-ų važ. dalių	kiti 1-os važ. dalies		
2010	103,74	84,75	82,80	83,99	69,78
2011	99,73	82,23	80,08	79,58	63,36
2012	102,17	85,45	82,15	83,56	69,47
2013	100,50	88,26	81,60	83,53	68,26
2014	102,29	90,65	81,47	84,76	70,99

4.8 lentelė. Vidutinis automobilių srauto judėjimo greitis ne žiemos sezonų metu

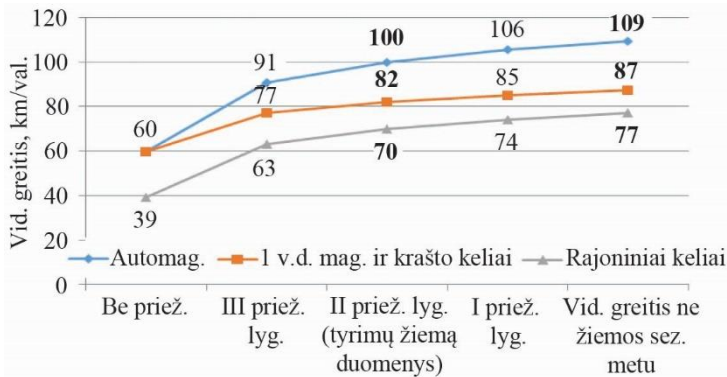
Table 4.8. The average vehicle traffic flow speed during the non-winter seasons

Metai	Magistraliniai keliai			Krašto keliai	Rajoniniai keliai
	automagistralės	kiti 2-ų važ. dalių	kiti 1-os važ. dalies		
2010	111,92	87,96	85,26	88,21	76,41
2011	108,57	87,75	85,89	86,66	76,28
2012	111,05	88,02	85,17	88,00	77,06
2013	109,50	91,04	85,27	87,53	77,26
2014	106,56	94,23	84,88	87,66	77,88

Vidutiniai automobilių srauto greičiai valstybinės reikšmės keliuose nustatyti remiantis keliuose veikiančių eismo skaičiuoklių duomenimis. Vertinti vidutiniai

greičiai žiemos sezono metu (t. y. spalio – kovo mėnesiais) bei likusių metų laikotarpiu (žr. 4.7 ir 4.8 lentelėse).

Atlikus greičių analizę bei įvertinus avaringumo analizės rezultatus, apsispręsta modelyje nagrinėti tokias 4 kelių grupes: magistraliniai keliai turintys dvi važiuojamąsias dalis, magistraliniai keliai, turintys vieną važiuojamąją dalį, krašto keliai ir rajoniniai keliai. Automobilių vidutiniai greičiai pagal keliuose taikomus priežiūros lygius priimti įvertinus 2011–2014 m. faktiškai keliuose taikytus žiemos priežiūros lygius. Magistraliniams keliams, turintiems vieną važiuojamąją dalį ir krašto keliams taikytas tas pats greičio modelis, nes šiuose keliuose greičiai labai panašūs. Automobilių srauto judėjimo greičių priklausomybė nuo taikomo priežiūros lygio žiemos sezono metu pateikta 4.3 paveiksle.



4.3 pav. Modelyje taikyti automobilių srauto judėjimo greičiai žiemos sezono metu

Fig. 4.3. The vehicle traffic flow speeds during the winter season applied in the model

Pastebėta, kad magistraliniuose keliuose automobilių greitis yra netgi šiek tiek mažesnis nei krašto keliuose. Tai greičiausiai yra susiję su didesniu sunkiųjų transporto priemonių skaičiumi magistralinių kelių automobilių sraute, bei didesniu bendru eismo intensyvumu.

Nustatant laiko vertę taikytos „Automobilių kelių investicijų vadovė“ rekomenduojamos vieno automobilio laiko sąnaudų kainos (4.9 lentelė).

Kaip jau minėta, kelių priežiūra užtikrina geresnes eismo sąlygas, nei be priežiūros, išauga vidutinis automobilių srauto greitis ir sumažėja kelionės laiko kaštai. Šis laiko kaštų sumažėjimas yra vienas iš žiemos priežiūros teikiamos naudos komponentų – transporto kelionės trukmės santaupos/nuostoliai (žr. 4.10 lentelėje).

4.9 lentelė. Kelionės laiko sąnaudų įkainiai atskiriems transporto priemonių tipams
Table 4.9. Travel time related costs for individual vehicle types

Automobilių tipas	Automobilio kelionės laiko vertė, Eur/val.	Transporto priemonių dalis sraute, %						
		Europinė	Euro regioninė	Nacionalinė	Regioninė	Rajoninė	Vietinė	Privažiavimo
Lengvieji automobiliai (ir 2-ašis sunkvežimiai iki 3,5 t)	8,66	67,9	81,5	82,5	85,0	86,3	85,2	87,8
Mini autobusas (iki 20 vietų)	29,25	3,2	3,5	3,2	3,1	4,0	4,5	3,9
Autobusas (virš 20 vietų)	93,94	1,4	0,8	1,5	0,9	0,9	1,0	0,7
Sunkvežimiai:								
2-ašiai	8,91	3,3	3,4	3,5	3,5	3,7	4,1	3,3
3-ašiai	11,34	0,8	0,9	0,9	1,0	1,5	1,7	1,2
4-ašiai	16	3,2	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	0,6
5 ir daugiau ašių turintys sunkvežimiai	20	20,2	8,5	6,9	4,8	2,0	1,8	1,9
Vidutinė vieno automobilio laiko vertė, Eur/val.:		13,08	11,13	11,44	10,68	10,53	10,72	10,28

4.1.5. Transporto priemonių eksploatacinės sąnaudos žiemos sezono metu

Geresnė kelių priežiūra užtikrina geresnes eismo sąlygas, didesnius greičius ir tolygesnį važiavimą. To rezultate sumažėja kuro ir kitos autotransporto priemonių eksploatacinės sąnaudos. Tačiau trečiajame skyriuje atlikta analizė rodo, kad žiemos priežiūros metu naudojamos druskos turi ir neigiamą efektą automobiliams – pagreitėja jų korozija. Tiek vieną, tiek kitą efektą įvertinti labai sudėtinga, todėl modelyje tokio vertinimo atsisakyta, laikantis prielaidos, kad jie vienas kitą kompensuoja (žr. 1.12 pav.).

4.2. Sudaryto modelio taikymas skirtingiems kelių priežiūros žiemą scenarijams ir ekonominis vertinimas

Automobilių keliuose žiemą taikomų priežiūros lygių įvertinimui reikalinga apskaičiuoti tam tikrus ekonominius rodiklius – priežiūros kainas ir kelio naudotojų išlaidas. Buvo nustatyta, kad ekonomiškai optimalius priežiūros lygius galima apskaičiuoti tik vienam kelio elementui – dangai. Būtent nuo kelio dangos priežiūros priklauso kelio naudotojų nuostoliai. Kitiems kelio elementams taikomas priežiūros lygis nustatomas pagal apskaičiuotąjį dangai arba vadovaujantis inžineriniais – techniniais ar administraciniais motyvais.

Visi vertinti valstybinės reikšmės kelių žiemos priežiūros naudos komponentai – eismo įvykių nuostolių ir kelionės laiko santaupos – tiesiogiai priklauso nuo naudos gavėjų (kelių naudotojų) skaičiaus. Kuo didesnis keliu vykstančio eismo intensyvumas, tuo daugiau naudos gavėjų, tuo didesnė kelio teikiama nauda, o kartu – ir kelio priežiūros žiemą teikiama nauda. Modelio rezultate apskaičiuotos 2011–2014 m. laikotarpiu patiriamos bendros visuomenės išlaidos žiemą 4.8 lentelė). Nustatyta, kad kelių priežiūros kaštai 2011–2014 m. žiemos sezonais sudaro tik apie 4 % nuo bendrų visuomenės patiriamų išlaidų lyginant su kaštais kuriuos patiria visuomenė per eismo įvykius ir kelionės laiko išlaidas (kurios atitinkamai sudaro 9 ir 87 %) (4.4 pav.). Tai parodo kokią didelę įtaką kelių priežiūros kokybė turi bendroms patiriamoms visuomenės išlaidoms.



4.4 pav. Bendri visuomenės patiriami nuostoliai 2011–2014 m. žiemos sezono metu

Fig. 4.4. The total losses incurred by the society in in 2011–2014 winter seasons

4.10 lentelė. Bendros visuomenės patiriamos išlaidos 2011–2014 m. žiemos sezonų metu, mln. Eur
Table 4.10. The total expenses incurred by the society in the winter season on 2011–2014, in mln EUR

	BAZINIS				MINIMALUS				OPTIMALUS			
	Prie-žiūros kaštai, mln. Eur	Eismo įvykių kaštai, mln. Eur	Laiko kaštai, mln. Eur	Bendri vi- suomenės nuosto- liai, mln. Eur	Prie-žiūros kaštai, mln. Eur	Eismo įvykių kaštai, mln. Eur	Laiko kaštai, mln. Eur	Bendri vi- suomenės nuosto- liai, mln. Eur	Prie-žiūros kaštai, mln. Eur	Eismo įvykių kaštai, mln. Eur	Laiko kaštai, mln. Eur	Bendri vi- suomenės nuosto- liai, mln. Eur
Kelio funkcinė reikšmė												
Europinė	17,07	31,4	756,1	804,57	5,96	37,5	826,6	870,07	19,88	29,9	729,6	779,43
Euro regioninė	11,52	22,0	317,9	351,41	5,49	24,6	341,8	371,83	11,52	22,0	317,9	351,41
Naciona- linė	15,70	40,1	462,2	517,97	7,49	44,9	493,6	546,02	17,97	38,8	457,8	514,58
Regioninė	35,07	95,3	705,2	835,59	16,80	106,7	753,3	876,88	33,87	96,1	708,4	838,29
Rajoninė	31,85	68,0	507,6	607,43	25,43	68,6	530,2	624,24	28,76	67,7	522,6	619,05
Vietinė	22,19	26,5	163,0	211,73	22,19	26,5	163,0	211,73	22,22	26,5	162,9	211,69
Privatžia- vimo	5,73	4,5	35,5	45,72	5,73	4,5	35,5	45,72	5,74	4,5	35,5	45,70
Viso:	139,13			3374,41	89,09			3546,48	139,96			3360,15

Kaip minėta anksčiau modelyje lyginamos gautos visuomenės patirtos išlaidos 2011–2014 m. žiemos sezonų metu (bazinis scenarijus) su minimalių KDPŽ išlaidų scenarijumi (kur visuose keliuose taikomi žemiausi priežiūros lygiai) ir su optimaliu scenarijumi, kuriame priežiūros lygiai parenkami atsižvelgiant į kelių funkcinę reikšmę. Rezultatai pateikti 4.10 lentelėje.

Ekonomiškai racionaliausia taikyti tokius automobilių kelių priežiūros žiemą lygius, kurie bendrus visuomenės patiriamus kaštus minimizuotų. Iš modelio rezultatų pateiktą 4.10 lentelėje matyti, kad 2011–2014 metais taikant minimalius KDPŽ lygius lyginant su taikytais (bazinis scenarijus) bendros visuomenės išlaidos išaugtų 122,03 mln. Eur, o modeliuojant pritaikius optimalius KDPŽ lygius (optimalus scenarijus) būtų sutaupyta 13,43 mln. Eur, tačiau svarbiausia būtų išvengta apie 13 įskaitinių eismo įvykių.

4.3. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Atliktas sudaryto teorinio automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelio tikslinimas ir jo pritaikymas Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams.
2. Atlikta naudos (kurią sudaro kelio naudotojų sumažėjusios išlaidos) ir kaštų (kelių priežiūros žiemą kaina) analizė, pagal tris kelių priežiūros žiemą scenarijus:
 - Minimalus – priimant, kad visi valstybinės reikšmės automobilių keliai prižiūrimi taikant žemiausius kelių priežiūros žiemą lygius;
 - Bazinis – 2011–2014 metų žiemos sezonais faktiškai taikyti kelių priežiūros žiemą lygiai;
 - Optimalus – priimant, kad valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą lygiai taikomi atsižvelgiant į šių funkcinę paskirtį.
3. Atlikus eksperimentinių tyrimų rezultatų vertinimą ir nustačius, kad tradicinės chloridų druskos yra efektyviausios Lietuvos meteorologinėms eismo sąlygomis, nuspręsta atliekant naudos ir kaštų analizę, sudarytiems trims kelių priežiūros žiemą scenarijams, naudoti 2011–2014 metais Lietuvoje taikytus kelių priežiūros žiemą technologijų ir naudojamų cheminių medžiagų kaštus.
4. Naudos ir kaštų analizės rezultatai parodė, kad:
 - kelių priežiūros kaštai 2011–2014 metų žiemos sezonais sudaro tik apie 4 % nuo bendrų visuomenės patiriamų išlaidų lyginant su kaštais kuriuos patiria visuomenė per eismo įvykius ir kelionės laiko išlaidas (kurios atitinkamai sudaro 9 % ir 87 %);

- pritaikius minimalų kelių priežiūros žiemą lygių scenarijų įvyktų nei 160 įskaitinių eismo įvykių daugiau, bei bendri visuomenės nuostoliai padidėtų 122,03 mln. Eur lyginant su baziniu scenarijumi;
 - pritaikius optimalų kelių priežiūros žiemą scenarijų įvyktų 13 įskaitinių eismo įvykių mažiau, bei bendri visuomenės nuostoliai sumažėtų 13,43 mln. Eur lyginant su baziniu scenarijumi.
5. Gauti modeliavimo rezultatai įrodo, kad pasiūlytas automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelis leidžia nustatyti ekonomiškai pagrįstą kelių priežiūros žiemą strategiją Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių keliams.

Bendrosios išvados

1. Išanalizavus 9 išsivysčiusių pasaulio šalių kelių priežiūros žiemą valdymo patirtį nustatyta, kad daugumoje jų taikomi bent trys kelių priežiūros žiemą lygiai (I – aukštas lygis, II – vidutinis lygis, III – žemas lygis). Atlikus užsienio šalių kelių priežiūros žiemą praktikos analizę nustatyta, kad ekonomiškai pagrįstų kelių priežiūros žiemą lygių parinkimui būtina įvertinti ir kelių funkcinę paskirtį. Mažiausių visuomenės išlaidų principas yra pagrindinis kriterijus nustatant optimalius kelių priežiūros žiemą lygius.

2. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą lygiai šiuo metu parenkami nepakankamai įvertinant visus visuomenės poreikį lemiančius veiksnius. Automobilių kelių priežiūros žiemą lygių taikymas, atsižvelgiant tik į kelio kategoriją ir eismo intensyvumą neužtikrina pažangiausių pasaulio valstybių eismo saugumo rodiklių ir kelio funkcinės paskirties.

3. Išanalizavus Lietuvos ir kitų šalių patirtį pasiūlyta slidumą kelyje mažinančių cheminių medžiagų efektyvumo tyrimo metodika, leidžianti objektyviai įvertinti alternatyvių tradicinėms chloridų druskoms cheminių medžiagų efektyvumo poveikį sukibimo koeficientui. Pagal šią metodiką atlikti lauko ir laboratoriniai medžiagų efektyvumo tyrimai parodė, kad kelio aplinkos oro temperatūrai esant:

- iki $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ efektyviausia medžiaga yra tradicinis natrio chloridas;
- žemesnei nei $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ visos tirtos medžiagos yra mažai efektyvios.

Vertinant įvairiais aspektais analizuojamas chemines medžiagas, naudojamas kelių priežiūrai žiemą, bei atsižvelgiant į šių medžiagų poveikį aplinkai ir kainą, galima teigti, jog Lietuvos meteorologinėms eismo sąlygoms tinkamiausios yra natrio bei kalcio chloridų druskos.

4. Europinės ir Ruro Regioninės funkcinės paskirties keliuose, kuriuose turi būti užtikrintas tarptautinis tranzitinis eismas, tikslinga taikyti vienodą priežiūros žiemą lygį visame transporto koridoriuje. Atlikus 2011–2014 metų žiemos sezonų avaringumo analizę nustatyta, kad Europinės funkcinės paskirties keliuose, kuriuose taikyti skirtingi priežiūros žiemą lygiai atskiruose kelių ruožuose, eismo įvykių rizika yra aukštesnė (32,6 EĮ/mlrd. aut. km) nei Euro Regioninės funkcinės paskirties keliuose (28,3 EĮ/mlrd. aut. km), kuriuose taikytas pastovus vidutinis kelių priežiūros žiemą lygis.

5. Apskaičiavus 2011–2014 metų žiemos sezonais bendras visuomenės patirtas išlaidas nustatyta, kad kelių priežiūros kaštai sudarė tik iki 4 % bendrų visuomenės išlaidų, o išlaidos susijusios su eismo įvykių nuostoliais ir kelionės laiko kaštais siekė atitinkamai 9 % ir 87 % nuo bendrų apskaičiuotų visuomenės išlaidų. Ekonomiškai racionaliausia taikyti tokius kelių priežiūros žiemą lygius, kurie šiuos bendrus visuomenės kaštus minimizuotų. Remiantis atliktais modeliavimo rezultatais, priežiūros lygius pritaikius pagal optimalų scenarijų 2011–2014 m. laikotarpyje būtų išvengta iki 13 įskaitinių eismo įvykių ir bendros visuomenės patiriamos išlaidos sumažėtų daugiau kaip 13 mln. Eur. Vykdam automobilių kelių priežiūrą žiemą pagal minimalų scenarijų įvyktų daugiau nei 160 įskaitinių eismo įvykių daugiau, bei bendri visuomenės nuostoliai padidėtų 122 mln. Eur lyginant su baziniu scenarijumi.

6. Pasiūlytas valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelis yra efektyvus įrankis optimalių priežiūros lygių taikymui, suteikiant galimybę ekonomiškai pagrįsti kelių priežiūros žiemą strategiją, labiausiai atitinkančią visuomenės poreikius.

Rekomendacijos

1. Vertinant įvairiais aspektais ištirtas chemines medžiagas, naudojamas kelių priežiūrai žiemą, bei papildomai įvertinus šių medžiagų poveikį aplinkai ir jų kainą, galima teigti, jog Lietuvai tinkamiausias variantas aukščiausio priežiūros lygio keliuose yra natrio bei kalcio chloridų druskos. Rekomenduojama, prieš nusprendžiant naudoti įvairias aprašytas disertacijoje ir kitas alternatyvias medžiagas, detalai išnagrinėti jų tiekimo, transportavimo, sandėliavimo, bei jų panaudojimo reikalavimus ir kitus ypatumus, kadangi kai kurios iš jų labai jautrios aplinkos drėgnumui ir transportuojamos tik sandariuose vakuuminiuose maišuose ir panašiai. Įvertinant pakankamai didelę jų kainą, kuri šiai dienai yra keliolika kartų didesnė lyginant su tradicinėmis chloridų druskomis, tikslinga atlikti naudos ir kaštų analizę, be to, žvelgiant iš užsienio šalių praktikos, šių medžiagų panaudojimo mastai yra labai maži.

2. Siekiant gauti ekonomiškai tikslų rezultatą, nustatant visuomenės poreikius lemiančius veiksnius, reikia žinoti visus modeliuojamam dydžiui įtakos turinčius faktorius. Tačiau atliekant aplinkosauginių ir transporto priemonių eksploatacinių kaštų vertinimą buvo susidurta su problema, kad nėra patikimų statistinių duomenų apie šiuos veiksnius. Lietuvoje, šiuo metu minėtų veiksnių įvertinimas pareikalautų labai didelių materialinių ir fizinių resursų, todėl šioje disertacijoje jie nevertinti. Ateityje tikslinga šiuos veiksnius vertinti, tam būtina sistemingai

kaupiti ir apdoroti duomenis susijusius su aplinkosauginiais ir transporto priemonių eksploatacinių sąnaudų įverčiais. Nes yra aiškos tendencijos, kad ateityje aplinkosauga, klimato kaita, energijos taupymas taps prioritetinėmis sritimis, o jų reikšmė ekonomikai, bei visai visuomenei tik didės.

3. Sudarytą valstybinės reikšmės automobilių kelių priežiūros žiemą lygių vertinimo modelį tikslinga taikyti ir atskirų kelių priežiūros tarnybų vykdomos kelių priežiūros kokybei įvertinti, bei reikalingoms lėšoms kelių priežiūrai žiemą pagrįsti.

Literatūra ir šaltiniai

Adomaitytė I. 2007. Lietuviams globalinis atšilimas nerūpi? „Lietuvos sveikata“, 2007-02-8-14 d. Nr. 6 (690). 12 p.

Akin, M.; Shi, X. 2012. Development of Standard Laboratory Testing Procedures to Evaluate the Performance of Deicers, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 40, No. 6: 1–12. <https://doi.org/10.1520/JTE103615>

Andersson, M.; Bruzelius, F.; Casselgren, J.; Gäfvert, M.; Hjort, M.; Hultén, J.; Håbring, F.; Klomp, M.; Olsson, G.; Sjö Dahl, M.; Svendenius, J.; Woxneryd, S.; Wälivaara, B. 2007. Road Friction Estimation. IVSS Project Report, No. 2004: 17750. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.025>

Andersson, A. K.; Chapman, L. 2011. The impact of climate change on winter road maintenance and traffic accidents in West Midlands, UK. *Accident Analysis and Prevention* 43: 284–289

Ambrazevičius, A.; Baublys, J. 2001. Transporto energetikos problemos Lietuvoje. 23 p. <http://www.elibrary.lt/resursai/LMA/Energetika/E-19.pdf>

Andrey, J. 2003. Weather – a road safety risk. *Transportation talk* 25(4): 1, 9.

Andrey, J.; Mills, B. 2003. Collisions, casualties and costs: weathering the elements on Canadian roads. Institute for Catastrophic Loss Reduction. Paper series 33.

Andrey, J.; Mills, B.; Vandermolen, J. 2003. Chapter 2: Weather information and road safety. J. Andrey, C. Knapper (eds). Weather and transportation in Canada. Department of Geography publication series 55. University of Waterloo.

Andrey, J.; Suggett, J.; Mills, B.; Leahy, M. 2001. Weather-related road accident risks in mid-sized Canadian cities. 12th Canadian multidisciplinary road safety conference proceedings. June 10–13, 2001, University of Western Ontario, London, Canada.

Automobilių kelių investicijų vadovas, patvirtintas Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus pavaduotojo, laikinai einančio direktoriaus pareigas 2015 m. lapkričio 26 d. įsakymo Nr. Nr. VE–23.

Agarwal, M.; Maze, T. H.; Souleyrette, R. 2005. The weather and its impact on urban freeway traffic operations, in 85th Transportation Research Board Annual Meeting. Prieiga per internetą 2013 m. rugpjūčio mėn: https://wiki.cecs.pdx.edu/pub/ItsWeb/PortalWeather/Agarwal_06-1439.pdf

Ballesta, P. P.; Field, R. A.; Fernandez-Patier, R.; Madruga, D. G.; Connolly, R.; Caracena, A. B.; De Saeger, E. 2008. An approach for the evaluation of exposure patterns of urban populations to air pollution. *Atmospheric Environment*, 42(21), 5350–5364.

BEF Lithuania. Baltijos aplinkos forumas Lietuvoje informacinis puslapis apie klimato kaitą. Prieiga per internetą 2013 m. rugpjūčio mėn.: <http://www.bef.lt/index.php?id=102&L=1>

Berglund, C. M. 2008. The Winter Model: The Benefits and Costs of Winter Road Maintenance, VTI – Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden, 28 pp.

Bianchini, A.; Heltzman, M.; Maghsoodloo, S. 2011. Evaluation of Temperature Influence on Friction Measurements. 640/ *Journal of Transportation Engineering*, September 2011.

Blomqvist, G. 2006. The environmental sub-model of the Swedish winter model – from real world data to a modelled scenario. *PIARC XII International Winter Road Congress*, Torino–Sestriere, Italy.

Blomqvist, G. 2001. De-icing salt and roadside environment: Air-borne exposure, damage to Norway spruce and system monitoring. PHD thesis summary. Stockholm, VTI. 5 p.

Boselly, S. E. 2001. Benefit/cost study of RWIS and anti-icing technologies. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Boselly III, S. E.; Stanley, G. D.; Thornes, J. E.; Ulberg, C. 1993. Road Weather Information Systems, volume 1: research report. Strategic Highway Research Program, National Academy of Sciences, 219 psl. <http://gulliver.trb.org/publications/shrp/SHRP-H-350.pdf>

Bulevičius, M.; Čygas, D.; Laurinavičius, A.; Mučinis, D.; Vaitkus, A. 2014. Materials and technologies for winter road maintenance in Lithuania. *XIVth international winter road congress*, 4–7 February, Andorra. France: World road association (PIARC): 1–15.

Boon, C. B.; Cluett, C. 2002. Road Weather Information Systems: enabling proactive maintenance practices in Washington State (report). Washington State Transportation

Center (TRAC) Research report T180(39). <http://depts.washington.edu/trac/bulk-disk/pdf/529.1.pdf>

Chappelow, C. C.; McElroy, A. D.; Blackburn, R. R.; Cooper, G. R.; Pinzino, C. S.; Darwin, D.; de Noyelles, F. G.; Locke, C. E. 1993. Evaluation Procedures for Deicing Chemicals and Improved Sodium Chloride. Strategic Highway Research Program, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington D.C.

Chappelow, C. C.; McElroy, A. D.; Blackburn, R. R.; Darwin, D.; de Noyelles, F. G.; Locke, C. E. 1992. Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers. Strategic Highway Research Program, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington D.C.

Chen, S. S.; Lamanna, M. F.; Tabler, R. D.; Kaminski, D. F. 2009. Computer-Aided Design of Passive Snow Control Measures. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2107, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.: 111–120.

COST 344. 2002. European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research, Project COST 344. Improvements to Snow and Ice Control on European Roads and Bridges. Documentation for the Final Seminar, Liubliana, December 2002.

Craver, V. O.; Fitch, G. M.; Smith, J. A. 2008. Recycling of Salt-Contaminated Storm Water Runoff for Brine Production at Virginia Department of Transportation Road-Salt Storage Facilities. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2055, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.: 99–105.

Cuelho, E.; Harwood, J. 2012. Laboratory and Field Evaluation of Anti-Icing Strategies. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2272, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.: 144–151.

De Palma, A.; Lindsey R.; Proost S. 2006. Research challenges in modelling urban road pricing: An overview. *Transporto Policy* – 13: 149–161, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.11.006>

Cuelho, E.; Harwood, J.; Akin, M.; Adams, E. 2010. Establishing best practices for removing snow and ice from California roadways, Final project report, California Department of Transportation, Department of Research and Innovation. 113 p.

Eisenberg, D.; Warner, K. E. 2005. Effects of snowfalls on motor vehicle collisions, injuries, and fatalities. *American Journal of Public Health* 95 (1), 120.

Enberg, A.; Mannan, S. 1998. Effects of Road and Weather Conditions on Traffic flow on a Three-Lane Rural Highway in Finland. Xth PIARC International Winter Road Congress, Lulea, Sweden.

Economic benefit of SHRP research. 1997. Chapter 6: Life-cycle effects of snow and ice removal. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, FHWA-SA-98-017. <http://www.fhwa.dot.gov/>

Fay, L.; Shi, X. 2012. Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: state of the knowledge, *Water, Air, & Soil Pollution* 223(5): 2751–2770. <http://doi.org/10.1007/s11270-011-1064-6>

Fay, L.; Shi, X. 2011. Laboratory investigation of performance and impacts of snow and ice control chemicals for winter road service, *Journal of Cold Regions Engineering* 25(3): 89–114. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CR.1943-5495.0000025](http://doi.org/10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000025)

Fay, L.; Veneziano, D.; Ye, Z.; Williams, D.; Shi, X. 2010. Costs and benefits of tools to maintain winter roads: A renewed perspective based on recent research. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2169: 174–186. <https://doi.org/10.3141/2169-19>

Flintsch, G. W.; Izeppi, E. de L.; McGhee, K. K.; Roa, J. A. 2009. Evaluation of International Friction Index Coefficients for Various Devices. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2094, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.: 136–143.

Fresh Air. The Scent of Pine. Human Impacts on the Global. Biosphere: A Guide to the Consensus. February 2011. <https://scentofpine.files.wordpress.com/2011/02/scent-of-pine-human-impact-consensus-february-2011.pdf>

Fu, L.; Perchanok, M. S.; Moreno, L. F. M.; Shah, Q. A. 2006. Effects of winter weather and maintenance treatments on highway safety. TRB 2006 Annual Meeting. Paper No. 06 – 0728.

Giuliani, F.; Merusi, F.; Polacco, G.; Filippi, S.; Paci, M. 2012. Effectiveness of sodium chloride-based anti-icing filler in asphalt mixtures, *Construction and Building Materials* 30:174–179. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.036>.

Giorgi, F.; Meleux, F. 2007. Modelling the regional effects of climate change on air quality. *C. R. Geosciences*, 339: 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2007.08.006>

Global status report on road safety 2015 http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/

Goodwin, L. 2002. Weather Impacts on Arterial Traffic Flow [interaktyvus]. Washington, D.C.: Mitretek Systems Inc. Prieiga per internetą: http://www.ops.fhwa.dot.gov/weather/best_practices/ArterialImpactPaper.pdf

Goodwin L. C. 2003. Best Practices for road weather management, version 2.0. Federal Highway Administration, U.S. department of Transportation, FHWA–OP–03–081, 68 psl. http://ops.fhwa.dot.gov/weather/best_practices/CaseStudiesFINALv2–RPT.pdf

Haavasoja, T.; Nylander, J.; Nylander, P. 2012. Experiences of Mobile Road Condition Monitoring. SIRWEC 2012, Helsinki.

Haavasoja, T.; Haavisto, V.; Turunen, M. 2002. A field trial of vehicle grip compared to RWS data. *Vaisala News* 159: 28–30.

Hanbali, R. M. 1994. Economic Impact of Winter Road Maintenance on Road Users. In *Transportation Research Record* 1442, TRB, National Research Council, Washington, D. C.: 151–161.

Hanbali, R. M.; D. A. Kuemmel. 1993. Traffic Volume Reductions Due to Winter Storm Conditions. In Transportation Research Record 1387, TRB, National Research Council, Washington, D. C.: 159–164.

Hanbali, R.M.; Kuemmel, D. A. 1992. Traffic accident analysis of ice control operation. <http://www.trc.marquette.edu/publications/IceControl/ice-control-1992.pdf>

Hermans, E.; Brijis, T.; Stiers, T.; Offermans, C. 2006. The impact of weather conditions on road safety investigated on an hourly basis. TRB Annual Meeting 2006. Paper No. 06-1120.

Hranac, R.; Sterzin, E.; Krechmer, D.; Rahka, H.; Farzaneh, M. 2006: Empirical studies on traffic flow in inclement weather. Rep. FHWA-HOP-07-073, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 114 p.

Ye, Z.; Shi, X.; Strong, C. K.; Greenfield, T. H. 2009. Evaluation of Effects of Weather Information on Winter Maintenance Costs. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2107, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.: 104–110.

Jasiūnienė, V.; Čygas, D. 2013. Road Accident Prediction Model for the Roads of National Significance of Lithuania. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 8(1): 66–73. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2013.09>

Jonušienė, Z. 2000. Pūdas druskos. Lietuvos keliai. Vilnius. 56–58.

Juknevičiūtė-Žilinskienė, L. 2009. Lietuvos klimato įtakos kelių tiesybai vertinimo metodika ir klimatinis rajonavimas: daktaro disertacija. Vilnius: Technika. ISBN 978-9955-28-510-6. 144 p.

Karatan, G. L.; Ratnikov, V. B. [Каратан, Г. Л.; Ратников, В. Б.]. 1976. Борьба со снежноледным образованием на дорогах с помощью химических реагентов. Труды МДИ. М., 107–115.

Kažys, J.; Rimkus, E.; Valiukas, D. 2006. Variation of traffic accidents volume on different phases of adverse weather conditions. Proceedings of the XIII Standing International Road Weather Conference (SIRWEC) 2006 ISBN 88-902364-1-8, March 25–27, 2006, Turin, Italy: 128–131.

Kadūnas, K.; Arustienė, J. 2010. Kelių barstymo druskos poveikio požeminiam vandeniui apžvalga: ataskaita, Lietuvos Geologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos, 15 p.

Keršys, A. 2011. Sustainable urban transport system development reducing traffic congestions costs. 2011. // Inžinerinė ekonomika = Engineering economics / Kaunas University of Technology. Kaunas: Technologija. ISSN 1392-2785. 2011, Vol. 22, no. 1: 5–13 (Web of Science; IF: 1,468).

Kelių priežiūros vadovo I dalis „Automobilių kelių priežiūros normatyvai KPV PN–14“, patvirtintas Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2014 m. gegužės 28 d. įsakymu Nr. V–151.

Kelių priežiūros vadovo II dalis „Automobilių kelių priežiūros darbų atlikimo technologija KPV DT–15“ patvirtintas Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus 2015 m. sausio 30 d. įsakymu Nr. V(E)–1.

Kelių priežiūros vadovo III dalis „Automobilių kelių priežiūros ir remonto ekonominiai normatyvai EN–06,, patvirtintas Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos generalinio direktoriaus 2008 m. balandžio 28 d. įsakymo Nr. V–86 redakcija.

Kjellstrom, T.; Kovats, R. S.; Lloyd, S. J.; Holt T.; Tol, R. S. J. 2009. The direct impact of climate change on regional labour productivity. *Archives of Environmental and Occupational Health* 64(4): 217–227. <https://doi.org/10.1080/19338240903352776>

Klein-Paste, A.; Potapova J. 2014. Thermal Aspects of Melting Ice with Deicer Chemicals. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2440(–1): 69–75.

Knapp, K. K.; Smithson, D. L.; Khattak, A. J. 2002. The mobility and safety impacts of winter storm events in a freeway environment. <http://www.ctre.ias-tate.edu/pubs/midcon/knapp1.pdf>

Khattak, A. J.; Knapp, K. K. 2001. Interstate highway crash injuries during winter snow and non-snow events. Transportation Research Board 80th annual meeting. January 7–11, 2001, Washington D.C., USA.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <www.lakd.lt>.

Lietuvos policijos generalinio komisaro 2012 m. rugsėjo 13 d. įsakymą Nr. 5-V-622 „Dėl Administracinių teisės pažeidimų ir eismo įvykių registro duomenų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“. 83 p.

Laurinavicius, A.; Žilionienė, D. 2001. Lithuanian State Road Network and Its Modernization, *Transport XVI* (6): 208–214.

Laurinavičius A. 1999. Druskų tyrimai ir rekomendacijų pateikimas. VGTU, Vilnius.

Lee, C.; Wei-Yin Loh; Qin, X.; Sproul, M. 2008. Development of New Performance Measure for Winter Maintenance by Using Vehicle Speed Data. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2055, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D. C.: 89–98.

Lister J. 1998. Vaisala's global ice activities. *Vaisala News* 147: 29.

Leonovič, I.; Laurinavičius, A.; Čygas, D. 2014. Keliai ir klimatas. Vilnius; Technika. 168 p.

Malmivuo, M. 2011. Friction Meter Comparison Study 2011. Abstract. Original report Kitkamittareiden vertailututkimus 2011 published by the Finnish Transport Agency in the report series 48–2011.

Maki, P. J. 1999. Adverse Weather Traffic Signal Timing. 1999. Presented at the 69th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers (CD-ROM), Las Vegas, Nev., 8 p. <http://trafficware.infopop.cc/downloads/00005.pdf>

Mamčic, S.; Sivilevičius, H. 2013. The analysis of traffic accidents on Lithuanian regional gravel roads, *Transport* 28(1): 108–115. <https://doi.org/10.3846/16484142.2013.782894>

- Matsuzawa, M.; Takechi, H.; Kajiya, Y.; Ito, Y.; Igarashi, M. 2009. How Drivers Perceive Visibility in Blowing Snow. Human Subject Experiments on Visibility–Viewing Videos of Blowing Snow. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2107, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D. C.: 143–149.
- Mauritis, M.; McGraw, J.; Jang, J.–W. 1995. Method for determining ice undercut temperature of deicing chemicals. Technical note no. 7954. *ASCE J. Mater. Civ. Eng.* 7 (1): 84–86. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1995\)7:1\(84\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1995)7:1(84))
- Maze, T.; Agarwai, M.; Burchett, G. 2006. Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow. Transportation research record: *Journal of the transportation research board* 1948: 170–176.
- Miškinis, D.; Lingaitis, V. 2006. Maintenance Costs of Road Pavement and Motor Vehicles on the Route Vilnius–Kaunas–Klaipėda, *Transport XXI*(2): 131–134. ISSN 1648–4142 print / ISSN 1648–3480 online
- Munehiro, K.; Takernoto, A.; Takahashi, N.; Watanabe, M.; Asano, M. 2012. Performance Evaluation for Rural Two–Plus–One–Lane Highway in a Cold, Snowy Region. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2272, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D. C.: 161–172.
- Muthumani, A.; Fay, L.; Akin, M.; Wang, S.; Gong, J.; Shi, X. 2014. Correlating lab and field tests for evaluation of deicing and anti–icing chemicals: a review of potential approaches. *Cold Reg Sci Tech* 2014; 97: 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2013.10.001>
- Musk L. 1991. Chapter 1: Climate as a factor in the planning and design of new roads and motorways. A. Perry, L. Symons (Eds.). Highway meteorology. London: E & FN Spon.
- Nakatasuji, T.; Hayashi, I.; Kawamura, A.; Shirakawa, T. 2005. Inverse Estimation of Friction Coefficients of Winter Road Surfaces. New Considerations of Lateral Movements and Angular Movements. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 1911, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D. C.: 149–159.
- Niska, A. G.; Blomqvist, S.; Moller, C.–G.; Wallman and H. Gaunt. 2004. “The Winter Model: Stage 1.” VTI Report N30–2002, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) 32 pp. (In Swedish).
- Nixon, W. A. 2002. Anti-Icers: Driving Towards Clearer Roads. *Snow and Ice Manager*, February 15, 2002.
- Nixon, W. A.; Stowe, R. 2004. Operational use of weather forecasts in winter maintenance: a matrix based approach. 12th Standing International Road Weather conference. June 16–18, 2004, Bingen, Germany.
- Nixon, W. A.; Qiu, L. 2008. Effects of adverse weather on traffic crashes: systematic review and meta-analysis. TRB 87th Annual Meeting 2008. Paper No. 08 – 232

Norrman, J.; Eriksson, M.; Lindqvist, S. 2001. Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research* 15, 185–193

Ibrahim, A. T.; Hall, F. L. 1994. Effect of Adverse Weather Conditions on Speed-Flow-Occupancy Relationships. *Transportation Research Record* 1457, (1994): 184–191.

Parkman, C.; Abell, R.; Bradbury, T.; Peeling, D. 2012. Economic, Environmental and Social Impacts of Changes in Maintenance Spend on Roads in Scotland. Summary Report. TRL Ltd. Crowthorne, UK.

Paterson, W. 1987. Road Deterioration and Maintenance Effects. Models for Planning and Management. A World Bank Publication. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 453 p.

Perrin, H. J.; Martin, P. T.; Hansen, B. G. 2001. Modifying Signal Timing During Inclement Weather. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1748, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2001, pp. 66–71.

Problematika. 2012. Nuotolinių slidumo matavimo prietaisų bandymo duomenų analizė ir naudojimosi rekomendacijos. 29 p.

Rakha, H.; Arafeh, M.; Park, S. 2012. Modeling Inclement Weather Impacts on Traffic-Stream Behavior, *Transportation Science and Technology* 1(1): 25–48. doi:10.1260/2046-0430.1.1.25

Raslavičius, L.; Pakalnis, A.; Keršys, A.; Skvireckas, R.; Juodvalkis, D. 2016. Investigation of asphalt texture roughness on friction evolution for wheel-led vehicles. *Transport*. Vilnius: Technika; London: Taylor & Francis. ISSN 1648-4142. vol. 31, iss. 2: 133–141. (Web of Science; IF: 0,594).

Raukola T. 1996. New trend in winter maintenance of highway in Finland, *Finnconyact* 4 <http://www.tieh.fi/fc/fc496.htm#new>

Roskam, A. J.; Brookhuis, K. A.; Waard, D. D.; Carsten, O. M. J.; Read, L.; Jamson, S.; Ostlund, J.; Bolling, A.; Nilsson, L.; Antilla, V.; Hoedemaeker, M.; Janssen, W. H.; Harbluk, J.; Johansson, E.; Tevell, M.; Santos, J.; Fowkes, M.; Engstrom, J.; Victor, T. 2002. Human machine interface and safety of traffic in Europe. Project GRD1/2000/25361 S12.319626.

Qin, X.; Noyce, D. A.; Martin, Z.; Khan, G. 2007. Road weather safety audit program development and initial implementation. TRB 2007 Annual Meeting. Paper No. 07 – 2684.

Rezaei, A.; Masad, E. 2013. Experimental-based Model for Predicting the Skid Resistance of Asphalt Pavement. *International Journal of Pavement Engineering* Vol. 14, Nos. 1–2. January–February 2013. p. 24–35. ISSN 1029–8436 print/ISSN 1477–268X.

Rimkus, A. 2003. Chloridų, naudojamų sniego ir ledo tirpinimui keliuose poveikio aplinkai įtakojančių faktorių analizė. *The 25th International Baltic Road Conferences Materials*. Vilnius. 12 p.

Ružinskas, A.; Bulevičius, M.; Sivilevičius, H. 2016. Laboratory investigation and efficiency of deicing materials used in road maintenance, *Transport* 31(2): 147–155. <http://doi.org/10.3846/16484142.2016.1190787>

Samodurova, T. V.; Federova, J.; Gladysheva, O. V. 2010. Modeling Pollution on a Roadside during Winter Period. 65/ *International Journal of Pavement Research and Technology* 3(2): Vol 3 No. 2 Mar. 2010 p. 65–71. ISSN 1996–6814.

Suggett, J. 2003. Chapter 3: Weather-Related Collisions in Regina, Saskatchewan. J. Andrey, C. Knapper (eds). *Weather and transportation in Canada*. Department of Geography publication series 55. University of Waterloo.

Surgue, J.; Thornes, J. E.; Osborne R. 1983. Talking point: thermal mapping of road surface temperatures. *Physical Technology* 14: 212–213.

Skrodenis, E.; Makaravičius, M. 2013. Road maintenance in Lithuania. XXVIII International Baltic Road Conference, 26–28 August, 2013 Vilnius, Lietuva. Vilnius : Baltic Road Association, 2013. ISBN 9786099552606, p. [1–9].

Snow and Ice Databook 2010, PIARC, 2010 m. 2010R03EN. 223 p.

Strong, C.; Shi, X. 2008. Benefit–Cost Analysis of Weather Information for Winter Maintenance. A Case Study. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*. No.2055, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D. C.: 119–127.

Shi, X.; Fay, L.; Gallaway, C.; Volkening, K.; Peterson, M. M.; Pan, T.; Creighton, A.; Lawlor, C.; Mumma, S.; Liu, Y.; Nguyen, T. A. 2009. Evaluation of Alternative Anti-Icing and Deicing Compounds Using Sodium Chloride and Magnesium Chloride as Baseline Deicers – Phase I. Final Report No. CDOT-2009-1. Colorado Department of Transportation, DTD Applied Research And Innovation Branch. 294 p.

Shankar, V.; Mannering, F.; Barfield, W. 1995. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention* 27 (3), 371–389.

Sugrue, J. G.; Thornes, J. E.; Osborne, R. D. 1983. Thermal mapping of road surface temperatures. *Phys. Technol*, 14: 212–213.

Sheflin, M. 1981. How Winter Maintenance Affects Energy and Safety. *Rural and Urban Roads*, Vol. 19, No. 6.

Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š.; Maskeliūnaitė, L.; Bražiūnas J. 2012. Transporto sistemos elementai: praktinių darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika. 97 p. ISBN 978-609-457-347-7.

Swartz, H. G. 2011. Adapting to Climate Change in Adapting transportation to the impacts of Climate Change: State of the Practice 2011. Transportation Research Circular.

Švedijos klimato kaitos ir pažeidžiamumo komisija (Swedish Commission on Climate and Vulnerability) (2007). Sweden facing climate change – threats and opportunities, SOU 2007:60. Prieiga per internetą 2013 m. rugpjūčio mėn.: <http://www.sve-den.gov.se/sb/d/108/a/94595>

The Handbook of Road Safety Measures / Second Edition, Institute of Transport Economics, Rune Elvik, Alena Høye, Truls Vaa, Michael Sørensen, Oslo, Norway, 2009. 1078 p.

Thornes, J. E. 1989. A preliminary performance and benefit analysis of UK national ice prediction system. *Meteorological magazine* 118: 93–99.

Transportation Association of Canada. 2003. Synthesis of Best Practices – Road Salt Management. <http://www.tac-atc.ca/english/pdf/pavement.PDF>

U.S. Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Benefits, Costs, Deployment, and Lessons Learned, 2008.

Usman, T.; Liping, F.; Miranda-Moreno, L. F. 2010. Quantifying safety benefit of winter road maintenance: accident frequency modeling. *Accid. Anal. Prev.* 48 (6), 1878–1887.

VG TU mokslo darbo ataskaita. 2011. *Automobilių kelių tinklo elementų paskirties analizė ir plėtros schemos parengimas*. 34 p.

VG TU mokslo darbo ataskaita. 2015. *Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių efektyvios priežiūros žiemą studija*. 205 p.

VĮ Kelių ir transporto tyrimo institutas. 2011. *Valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygių optimizavimo priemonių analizė ir pasiūlymų parengimas*. 48 p.

VĮ Kelių ir transporto tyrimo institutas. 2003. *Ekonominio įvertinimo metodikos kūrimas kelių priežiūros lygių pagrindimui*.

VG TU mokslo darbo ataskaita. 2008. Nuostolių patiriamų dėl neigiamo transporto poveikio urbanistinėse zonose įvertinimas. 197 p. https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Teisine_informacija/Tyrimai_ir_analizes/SVEKOTRANS_2009.pdf

Velavan, K. 2006. Developing tools and data model for managing and analyzing traffic accident. MSc thesis report. University of Texas at Dallas, School of Economic, Political and Policy Sciences for Master of Science in Geographic Information Sciences.

Wallman, C.; Wretling, P.; Öberg, G. 1997. Effects of winter road maintenance : state-of-the-art. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut. VTI rapport, 423A.

Wallman, C.-G.; Åström, H. 2001. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. A literature review. Friction and traffic safety, Project Report, No. VTI meddelande 911A.

Wallman, C. G. 2004. “The Winter Model: A Winter Maintenance Management System”. Sixth International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Spokane, Washington Proceedings: 83–94.

Wallman, C.-G.; Blomqvist, G.; Gustafsson, M.; Niska, A.; Öberg, G.; Berglung, C.; Karlsson, B. 2006. “The Winter Model: Stage 2.” VTI Report 531, Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI): 106 pp. (In Swedish).

Wang, J.; Alexander, L.; Rajamani, R. 2004. GPS Based Real-Time Tire-Road Friction Coefficient Identification. Project Report, No. MN/RC – 2005–04.

Weather and transportation in Canada. 2003. J. Andrey & C. Knapper (eds.). Department of Geography, University of Waterloo. 289 p.

Xu, H.; Tan, Y. 2012. Development and Testing of Heat–and Mass–Coupled Model of Snow Melting for Hydronically. Heated Pavement. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board* 2282, Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.; 14–21.

Zietlow, G. 2004. Implementing Performance-based Road Management and Maintenance Contracts in Developing Countries. <http://www.zietlow.com/docs/PBMMC-GTZ.pdf>

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Vaitkus, A.; Vorobjovas, V.; Žiliūtė, L.; Kleizienė, R.; Ratkevičius, T. 2012. Optimal selection of soils and aggregates mixtures for a frost blanket course of road pavement structure. *The Baltic journal of road and bridge engineering*. Vilnius: Technika. ISSN 1822-427X. Vol. 7, no. 2, 154–159 (Web of Science; IF:1,478).

Laurinavičius, A.; Čygas, D.; Vaitkus, A.; Ratkevičius, T.; Bulevičius, M.; Mučinis, D.; Baltrušaitis, A. 2016. Research of snow melting materials performance efficiency for road winter maintenance. *Transport*. Vilnius: Technika, Vol. 31, no. 3, 322–332. ISSN 1648-4142. (Web of Science; IF: 0,143).

Ratkevičius, T.; Vaitkus, A.; Čygas, D.; Laurinavičius, A. 2015. Influence of road lighting on traffic safety issues. *Автомобильные дороги и мосты: научно-технический журнал*. Минск: РУП "БелдорНИИ". 2(16): 88–94. ISSN 2225–9082.

Straipsniai kituose leidiniuose

Ratkevičius, T.; Laurinavičius, A.; Juknevičiūtė-Žilinskienė, L. 2013a. Possibilities for the use of RWIS data in a building sector. *Procedia Engineering*. 11th international conference on modern building materials, structures and techniques (MBMST), May 16–17, 2013, Vilnius, Lithuania. Amsterdam: Elsevier Science Ltd, Vol. 57, 938–944. ISSN 1877-7058.

Ratkevičius, T.; Laurinavičius, A.; Juknevičiūtė–Žilinskienė, L. 2013b. Climatic regioning and winter road maintenance in Lithuania. *XXVIII International Baltic Road Conference*, 26–28 August, 2013 Vilnius, Lietuva. Vilnius: Baltic Road Association, 1–8.

Ratkevičius, T.; Laurinavičius, A.; Tuminienė, F.; Bradulienė, J. 2014. Reduction of negative impact of salts used for winter road maintenance on the environment. *9th International Conference "Environmental Engineering"*, May 22–23, 2014, p. 1–8. ISSN 2029–7092.

Laurinavičius, A.; Čygas, D.; Vaitkus, A.; Ratkevičius, T. 2014. Climatic regioning of Lithuania from the point of view of winter road maintenance. *XIVth international winter road congress*, 4–7 February, Andorra: proceedings. Iss. 04. Winter service management. France: World road association (PIARC), 1–9.

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Currently the road transport sector both in Lithuania and in foreign countries faces a challenge where road maintenance and repairs budgets are not being increased sufficiently on an annual basis (or at least are not increased, despite the fact that the cost of maintaining assets is going up), however, at the same time the requirement remains to maintain the roads in a condition which is not worse than the current one, or in some cases even to improve it. Due to such trends all the practically possible ways are being reviewed to look for new means to make road infrastructure management and maintenance more effective (including the modern technological equipment used for monitoring the road parameters and the chemical slipperiness reducing materials for the roads). The market continually offers different new materials for salting or sanding the roads with seemingly greater effectiveness and lower negative impact on the environment. However, their price in comparison with the traditional chloride salts is dozens of times higher, while their declared effectiveness does not always prove itself in practice. Therefore, it is necessary to carry out experimental research to evaluate the effectiveness of the alternative materials and to compare it with the currently used materials as well as to offer recommendations for the application of the materials on the national roads in Lithuania.

The level of maintenance is the direct assessment of the road operation and maintenance service provided to the road users, it directly affects the road maintenance and road users' expenses: the better is road maintenance, the less expenses are incurred by the road users, and vice versa.

Lithuanian national road maintenance in the winter time are being selected without taking into consideration all the factors that determine the need of the society. The current choice of maintenance levels in the winter time taking into account only the road category and traffic intensity does not ensure the indicators of the most advanced world countries and road functional purpose.

The major part of the road maintenance funds is devoted to support the winter maintenance, thus, it is of crucial importance to distribute them in the most rational way. In order to optimize the selection of the road maintenance levels in the winter time it is necessary to regard not only the economic calculations, but also the environmental and social benefits and costs.

The aim of the dissertation is to carry out the experimental effectiveness research of the chemical slipperiness reducing materials (SRMs) establishing the SRMs which are most appropriate for the Lithuanian climatic and traffic conditions. Furthermore, the planned intention is to compile methodology allowing to assess the winter road maintenance social and economic aspects and as an end result to choose the optimal levels which would be the most consistent with the needs of the road users and the society.

Relevance of the thesis

Roads are national assets of great significance. The well-developed road infrastructure is the basis for the growth of national economics and social welfare. The high quality maintenance of the national significance road network increases mobility and improves road safety, ensures the accessibility of the road network to the residents and guarantees reliable, sensible and clean travelling for the users of the national significance road network.

Effective road transport system encourages economic growth, however, it also inevitably affects the environment both during construction and modernization as well as during road maintenance. The limited funding of the road industry leads to economizing in the planning of road network maintenance, to identifying the appropriate priorities of the activities with the greatest benefit for the society.

Significant economic effect is achieved as a result of road funding and maintenance planning calculations which assist in solving the following problems:

- how to organize and distribute funding for road maintenance;
- which road maintenance levels should be applied and on which roads;
- what economic benefit for the society stems from the winter road maintenance;
- what amounts of funds are necessary currently and will be needed in the future to achieve and continuously maintain the established optimal road network maintenance level in the winter time.

The level of maintenance in Lithuania depends mostly on funding allotted for road maintenance. Insufficient road maintenance in the winter time causes not only the danger of road accidents, but also worsens the driving conditions, increases the fuel consumption, vehicle depreciation, transportation becomes costlier. The maintenance of roads of national significance in the winter time in Lithuania requires re-examination of the current application of the levels of maintenance while taking into account the many years of the country's experience as well as assessing the expenses of the road user. The principle of the minimal expenses for the society should be the main criterion in identifying the optimal levels of winter road maintenance.

The created assessment model of winter road maintenance levels could assist in offering an economically-based winter maintenance strategy for Lithuania's national significance roads.

The object of research

The object of research of this thesis – Lithuanian national roads and their maintenance levels in the winter time.

The aim of the thesis

To suggest a model of assessment of winter road maintenance levels that would economically justify the need of funds and that could also be an effective tool for the selection of the optimal maintenance levels, taking into account the factors having the most significant impact on the direct expenses of the road users.

The tasks of the thesis

To achieve the set objective, the following tasks were being solved:

1. To analyse the scientific sources related to the winter road maintenance.
2. To analyse the climate conditions in Lithuania and their specific features.
3. To carry out the experimental research of the effectiveness of the chemical slipperiness reducing materials for roads used in winter road maintenance and to analyse the applied technologies.
4. To provide the model of optimal winter maintenance levels of the national significance roads for individual road groups.
5. To apply the provided model of optimal winter maintenance levels of the Lithuanian national significance roads and to perform the economical assessment.
6. To offer the strategy of winter road maintenance for the Lithuanian national significance roads which would optimize the needs of the road users and maintenance requirements.

The research methodology

The following research methods were applied in the thesis: the scientific theoretical analysis, laboratory, pilot, statistical analysis, data comparison and grouping methods.

The scientific theoretical method was used to analyse the scientific publications, scientific and informational publications of the academic institutions of Lithuania and foreign countries.

The laboratory and pilot research methods were applied for the research of efficiency of chemical slipperiness reducing materials while establishing the most optimal materials for the Lithuanian climatic traffic conditions.

The statistical methods were used to determine the dependence of vehicle speed on the road surface condition in the winter time, also to analyse the road accident while taking into account the cross-cutting data analysis.

The data comparison and grouping methods were used to identify the necessary estimate values for the compiled theoretical assessment model of the winter road maintenance levels.

Scientific novelty of the thesis

The completed laboratory and field research of the chemical materials used for road salting assisted in selecting the most appropriate materials for the Lithuanian climate and traffic conditions. Moreover, in the future the offered research methods will assist in the assessment of

the effectiveness of the new materials (alternative to the chloride salts) against the currently used ones.

The experience of Lithuania and foreign countries helped in creating the model of assessment of winter maintenance levels for Lithuanian roads of national significance which can be applied in the other foreign countries as well.

Practical value of the research findings

The completed research of the chemical materials used for road salting assist in comparing the new alternative materials with the traditional chloride salts. The completed research helps in selecting the currently most effective materials for the Lithuania's climatic and traffic conditions.

The offered winter road maintenance levels' assessment model can be applied in practice to the national significance roads in Lithuania. This could be an effective tool for the selection of the optimal maintenance levels which would economically substantiate the winter road maintenance strategy that best corresponds with the needs of the society.

Defended statements

1. Transport flow driving speed, travel time, operational expenses, effect on the environment and road safety depend on the applied winter road maintenance level.
2. Lithuanian national road maintenance in the winter time are being selected without taking into consideration all the factors that determine the need of the society. The current choice of maintenance levels in the winter time taking into account only the road category and traffic intensity does not ensure the indicators of the most advanced world countries and road functional purpose.
3. In order to optimize the selection of the maintenance levels it is important to evaluate the specific features of the country's climate, road accidents (during the cold time of the year) the condition of the road surface, materials used and the costs of maintenance levels.
4. The traditional chloride salts are the most effective in ensuring the fulfilment of the highest requirements for Lithuanian national significance road maintenance levels in the winter time.
5. The maintenance of roads of national significance in the winter time in Lithuania requires re-examination of the current methods of selection of the levels of winter maintenance while taking into account the many years of the country's experience as well as assessing the expenses of the road user.

Approval of the research findings

7 articles were published on the subject of this dissertation: two scientific articles in the scientific journals the *Thomson ISI Web of Science* database with quoting index (Vaitkus *et al.* 2012; Laurinavičius *et al.* 2016); two other articles – in the conference materials, annotated in the Thomson ISI database (Ratkevičius *et al.* 2013a; Ratkevičius *et al.* 2014); two more articles – in the peer-reviewed international conference materials (Laurinavičius *et al.* 2014; Ratkevičius *et al.* 2015); one more – in peer-reviewed publication (Ratkevičius *et al.* 2013b).

Reports on the subject of the dissertation were read at four scientific conferences in Lithuania and abroad:

- 11th international conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”, 2013, Vilnius;
- International conference “XXVIII International Baltic Road Conference”, 2013, Vilnius;
- International congress “XIVth International Winter Road Congress”, 2014, Andorra;
- 9th international conference “Environmental Engineering”, 2014, Vilnius.

The structure of the dissertation

The dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of references, list of published scientific works on the topic of the dissertation, summary in English and annexes.

The total scope of the scientific work is 143 pages (without annexes), 10 numbered formulae, 31 figures and 31 tables. The thesis was based on the review of 132 literature sources.

1. The analysis of scientific theses on winter road maintenance quality improvement

This chapter analyses the Lithuanian and foreign scientific literature sources and works related to the subject of national significance road maintenance in the winter time.

The analysis of the experience of nine developed countries in the world in the area of winter road maintenance (WRM) has shown that most of them apply at least three WRM levels (I – high level, II – average level, III – low level). Each maintenance level is meant for a different road maintenance type, mostly based on traffic intensity and road category. Lithuanian national road maintenance in the winter time are currently selected without taking into consideration all the factors that determine the need of the society. WRM level application while taking into account only the road category and traffic intensity does not ensure the indicators of the most advanced world countries and road functional purpose.

In Lithuania the quality of the WRM results from the limited funding, the WRM levels are being selected without taking into consideration all the factors that determine the need of the society. Thus, it is appropriate to create a WRM quality assessment system which would assist in establishing economic feasibility of the need for funds and would optimize the application of the WRM levels.

Having performed the analysis of the WRM practice it was determined that selection of economically feasible WRM levels would require the assessment of the functional purpose of the roads. The principle of the minimal expenses for the society is the main criterion in identifying the optimal levels of WRM.

Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) in collaboration with the Swedish Road Administration developed a unique Winter Model which is an unparalleled tool allowing to create an economically-based winter maintenance strategy while selecting the road maintenance levels leading to the most significant economic benefit to the society. In Fig. S.1.1 it can be seen that 60% of the total expenses incurred by the society consist of costs related to travel time, almost 15% are made up by road accident losses, the costs of the remaining social and economic factors do not reach 10%, while the costs of the WRM represent only up to 0.5%. This can lead us to a conclusion that currently the most important social and economic

factors are travel time and road accidents which jointly stand for more than 75% of all the expenses incurred by the society in Sweden (Berglund 2008; Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Wallman 2004).

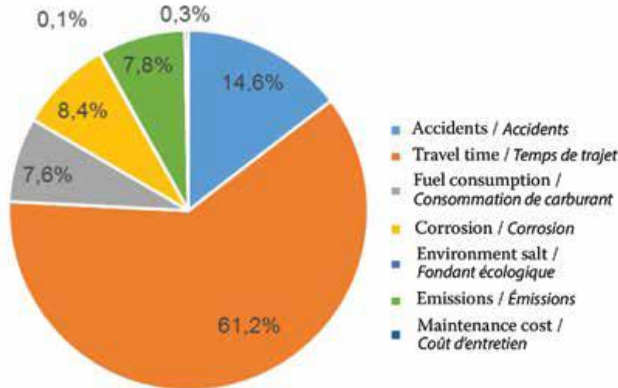


Fig. S.1.1. Social and economic factors identified in the Swedish winter road maintenance model (Niska *et al.* 2004; Wallman *et al.* 2006; Wallman 2004)

In summarizing the practices of the road infrastructure asset management and road maintenance in different countries as well as the quality improvement possibilities it is worth noting that despite the differences of details, complexity and application for specific country's road network aspects in the systems, models and procedures applied for road infrastructure management and road maintenance of different countries, the general view of the goal to be achieved is the same, i. e. to ensure road infrastructure functioning which would be the long-term, economically efficient and meet the social and environmental needs.

The performed analysis of the scientific works on WRM can lead us to a statement that the condition of the surfaced portion of the roadway in the winter influences the greatest economic benefit. The technologies and materials used for the maintenance of this particular portion of the road as well as the set requirements (optimal selection of the maintenance levels in the road network) have the most significant impact on the potential maintenance quality improvement. Since the technologies used in Lithuania are similar to those used abroad, it would be more sensible to research the efficiency and appropriateness of the alternative materials under the conditions specific to Lithuania (comparing them with the traditional salts). However, the main task is to create a tool which could assess the quality of the applied maintenance (surface cleaning and salting) means as well as the provided economic benefit for the road users.

2. Winter road maintenance experimental research and results' analysis

The second chapter presents the laboratory-based and field research results of the chemical slipperiness reducing materials.

The analysis of the experience of Lithuania and foreign countries lead to suggesting a research methodology of efficiency of chemical slipperiness reducing materials which would allow to make objective assessment of the chemical materials alternative to traditional chloride salts under meteorological and traffic conditions in Lithuania.

In order to identify the most efficient SRMs under the road weather conditions in Lithuania an experimental research plan was compiled with 2 stages:

- Experimental research in the laboratory (Fig. S.2.1).
- Experimental research on the tested sections (Fig. S.2.2).

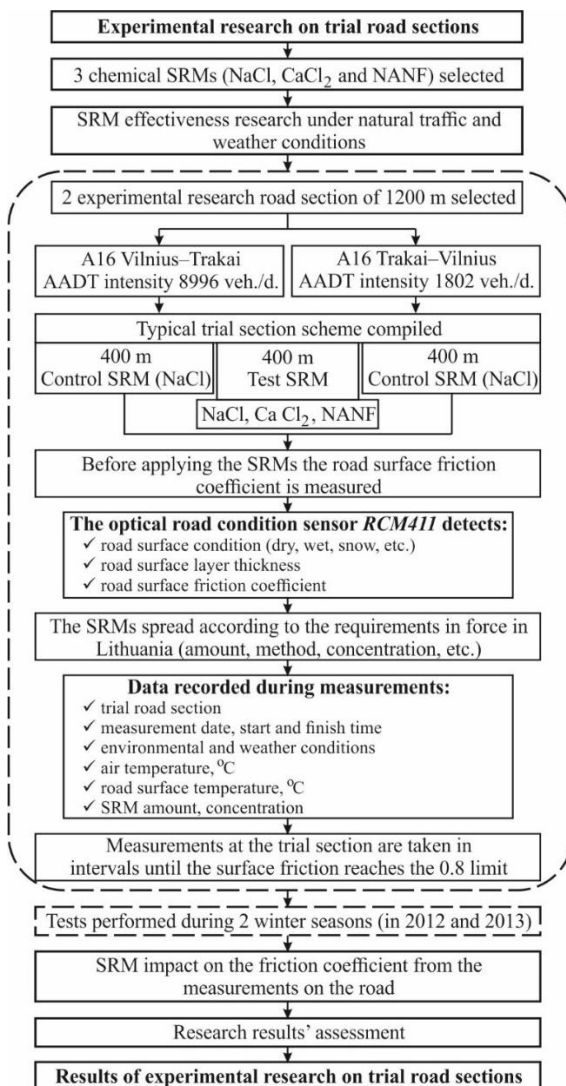


Fig. S.2.1. Laboratory-based experimental research plan

Based on the developed research methodology for road slipperiness reducing materials laboratory research of five chemical materials was completed, including: sodium chloride, calcium chloride, magnesium chloride, a mixture of sodium and calcium modified chlorides under the commercial name of “*Icemelt*”, and a mixture of sodium acetate and sodium formate under the commercial name of “*Nordway*” (Fig. S.2.1).

The assessment of the laboratory-based research results the 3 most effective SRMs were selected (sodium chloride, calcium chloride, the mixture of sodium acetate and sodium formate “*Nordway*”), which were tested under real-life weather and traffic conditions on the national significance road sections (Fig. S.2.2).

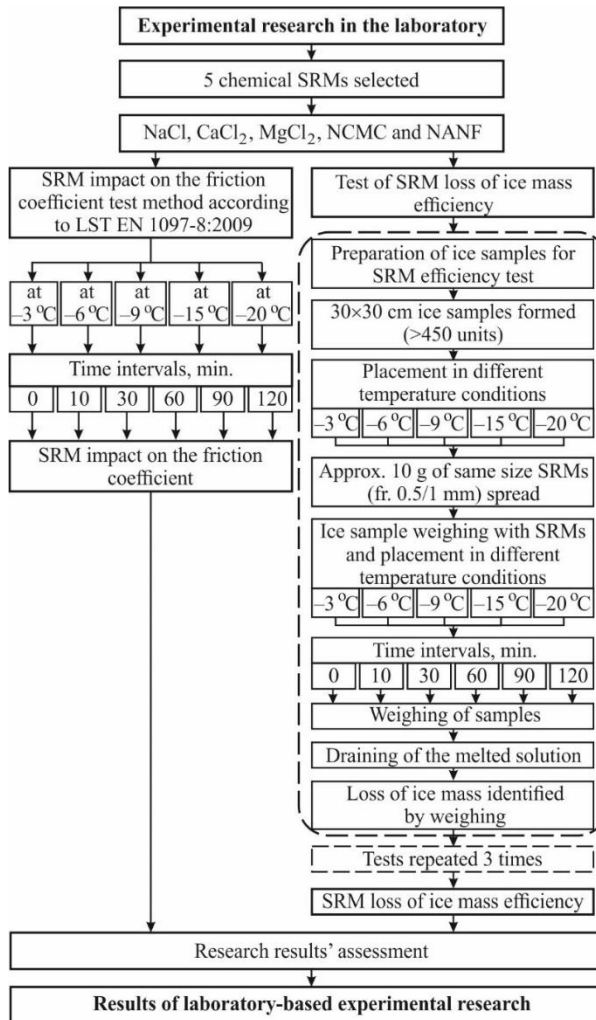


Fig. S.2.2. Plan of experimental research on trial road sections

The summarized experimental laboratory-based and field research results are presented in Table S.2.1, in which the resulting materials' efficiency in each individual research is distributed into four categories (starting from high efficiency marked by “+” to no efficiency marked by “–”).

Table S.2.1. The summarised total SRM effectiveness research results

SRM	Ambient temperature, °C				
	–3 °C	–6 °C	–9 °C	–15 °C	–20 °C
NaCl	+++	+±+	±∓–	---	---
CaCl ₂	±±+	±∓+	∓∓∓	∓∓–	–∓–
NANF	±+*	±∓*	∓∓*	∓–*	––*
MgCl ₂	∓±*	–∓*	–∓*	–∓*	–∓*
NCMC	+++	+++	±∓∓	∓--	---
Note: + High efficiency, ± Average efficiency, ∓ Low efficiency, – No efficiency, * Not researched.					

In summarizing the experimental research results identical tendencies of laboratory-based and field-based SRM efficiency research were noticed:

- in case of surface temperature ranging from –2 to –6 °C under the effect of sodium and calcium chlorides, the friction coefficient varies in the same interval from 0.3 to 0.8 and reached the same values after an identical time interval, while in case of surface temperature lower than –9 °C, all the researched materials are insignificantly effective.
- when the surface temperature reaches –15 °C and lower the ice can be melted only by means of calcium and magnesium chloride salts, however, even their efficiency is considerably low, while all the other researched materials are not efficient at all.

NaCl efficiency compared with the sodium acetate and sodium formate mixture (“Nor-dway”) is higher up to –7 °C both in respect of the ice and snow melting speed and in the value of the friction coefficient.

The assessment of the chemical materials for WRM tested in different aspects and the additional evaluation of the effect of these materials on the environment as well as the consideration of their price lead us to a conclusion that the most suitable choice for the highest maintenance level on roads are the sodium and calcium chloride salts which are currently in use. It is noteworthy that prior to the application of the described and other alternative materials it is necessary to complete a thorough analysis of the requirement of their supply, transportation, storage and use (technical capacity) as well as other specific features, whereas some of them are extremely sensitive to the humidity of the environment and are transported only in sealed vacuum bags, etc. Moreover, while taking into account their considerably high price (adding up all the expenses related to their purchase until application) it is feasible to perform the cost-benefit analysis since the practices of the foreign countries show that the scope of use of these materials are extremely small.

3. The theoretical model of assessment of winter road maintenance levels

The third chapter presents the theoretical WRM levels' assessment model as well as its constituent elements and estimates.

The assessment of the analysis of literature sources performed in the first chapter lead to a compilation of the theoretical model of assessment of WRM levels (Fig. S.3.1). The theoretical model is made based on the main principles of the “Winter Model” developed by the Swedish National Road and VTI in collaboration with the Swedish Road Administration. It is not possible to fully adopt the mentioned Swedish winter model as the model is adapted for the Swedish road network in particular.

To identify the economically optimal maintenance levels it is necessary to calculate certain economic indicators – maintenance prices and road users' expenses. It was established that the economically optimal maintenance levels can be calculated for only one road element – the surface.

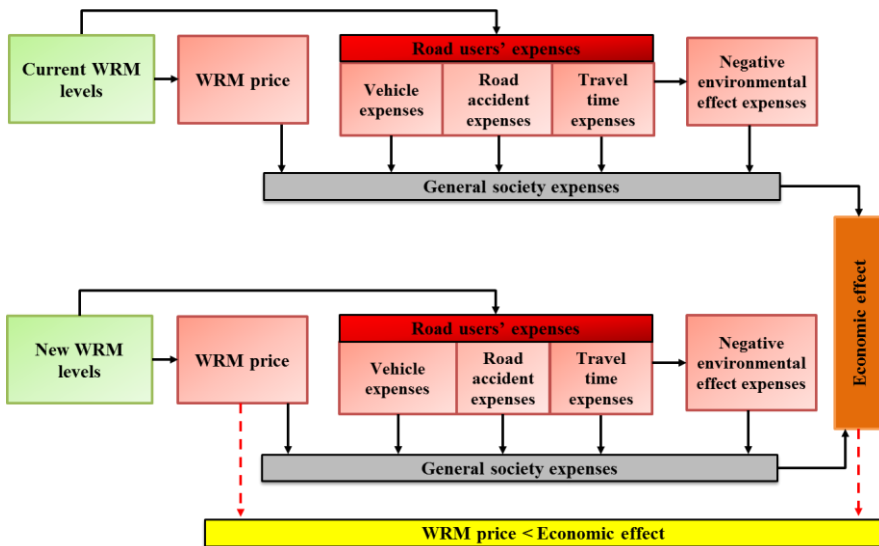


Fig. S.3.1. The theoretical model scheme of winter road maintenance levels assessment (compiled by the author)

The most significant impact on the road user's expenses in the winter time is made by the condition of the surfaced portion of the roadway. Therefore, the application of the developed theoretical assessment model of WRM levels is dedicated to this particular element of the road. For the sake of the economically feasible assessment of WRM levels the functional purpose of the Lithuanian national significance roads was taken into consideration. In such case the quantification of public spending would be limited to the calculation of the average values of all the road functional dependence groups with the account of different maintenance levels. In order to identify the economically feasible road maintenance levels and to simplify the economic calculations and assessments the distribution of the Lithuanian national significance

road network according to the functional purpose presented in the VGTU Road Research Institute scientific report “*Functional analysis of the road network elements and preparation of the development scheme*” was used (Annex C and Table S.3.1).

The necessary estimate values were identified for the compiled theoretical WRM levels' quality assessment model which make the most significant impact on the direct expenses of the road users related to safe traffic, travel time, vehicle operational costs and environmental ones. Based on the minimal public spending principle in order to identify the optimal WRM level, it is necessary to:

- calculate the maintenance price or the specific maintenance work type price of the certain road element for different maintenance levels;
- identify the types of road users' expenses (vehicle operational costs, time, road accident expenses) which are influenced by the road element maintenance or specific maintenance work type;
- calculate the road users' expenses for different maintenance levels of the certain road element or specific maintenance work type;
- identify the maintenance level for which the aggregate road element maintenance and road users' expenses would be the lowest; the same maintenance level will be the optimal one for that particular element or maintenance work type. In other words, in case of maintenance of this particular road element under a certain level the public spending will be the lowest, whereas in case of maintenance of the same under a different (even higher) level the society will incur losses.

Table S.3.1. Road network breakdown into categories according to the functional purpose (VGTU... 2011)

Functional significance of the road	Main roads, km		National roads, km	Regional roads, km	Total, km
	2-lane road	1-lane road			
European	296.3	286.2	–	–	582.5
Euroregional	123.3	412.7	–	–	536.0
National	–	623.3	223.4	–	846.7
Regional	–	–	3389.1	5.3	3394.4
County	–	–	1323.6	5892.0	7215.6
Local	–	–	–	6929.7	6929.7
Access	–	–	–	1789.4	1789.4

In order to get an absolutely exact result economically-wise while identifying the factors influencing the societal needs, it is important to know all the factors having impact on the modelled size. However, while identifying the environmental and vehicle operational costs' estimates a problem arose of the lack of reliable statistical data on these factors. Moreover, in Lithuania the assessment of the mentioned factors would currently require immense material and physical resources, thus, they are not being assessed in this dissertation.

4. Winter maintenance optimization possibilities on lithuanian national roads

After the analysis of the experimental research results the assessment of the national significance road maintenance levels' in the winter time was made by using the developed model. The benefit components of the national significance road maintenance in the winter time were evaluated, i. e. the road accident loss and travel time savings which are directly dependent on the amount of beneficiaries (road users). The higher the intensity of the road traffic, the more beneficiaries there are, and, consequently, the higher is the benefit provided by the road as well as the benefit provided by road maintenance.

It is common practice to compare the activities under analysis, their costs and consequences with a certain “zero” type alternative of “absence of activity”. This principle is also applied while calculating the benefit of the WRM: the benefit is calculated as the reduction of the vehicle travel time, vehicle operational cost and road accident loss due to the fact that the WRM is performed. The higher the maintenance level, the lower are the travel costs (and losses) and the greater are the savings. However, it would be difficult to imagine national significance roads where WRM would not be performed at all – such catastrophic scenario would hardly be possible on national significance roads.

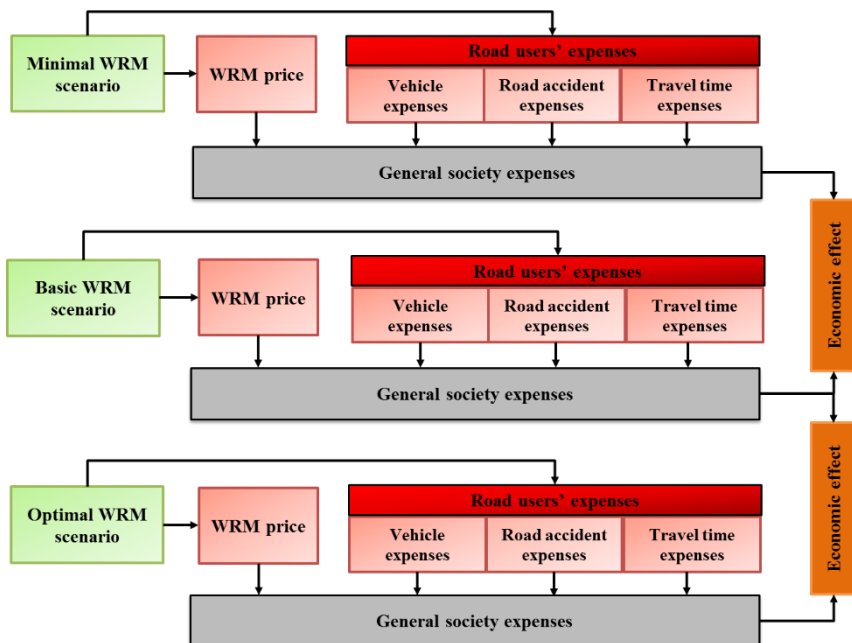


Fig. S.4.1. The scheme of winter road maintenance levels assessment model (compiled by the author)

While determining the degree of economic effect made by the road maintenance quality, cost-benefit analysis was performed according to three WRM scenarios (Fig. S.4.1):

- basic – the actually applied WRM levels during the winter seasons of 2011–2014;
- minimal – provided that all the national significance roads are being maintained by applying the lowest WRM levels;
- optimal – provided that national significance road maintenance levels in the winter time are applied with consideration of their functional purpose.

The experimental research results' assessment in chapter 2 established the fact that the traditional chloride salts were the most effective for the Lithuanian weather and traffic conditions. During the cost-benefit analysis for the compiled three WRM scenarios the WRM technology and used chemical materials' costs applied in Lithuania in 2011–2014 were employed (Table S.4.1).

Table S.4.1. The continuous prices (costs) applied in the model for 1 km of winter road maintenance, EUR per year (season) (Lietuvos... 2014)

Maintenance levels	Main roads		National roads	County roads
	2-lane road	1-lane road		
I – high	13907.0	8530.9	5118.5	1374.5
II – average	8757.0	5371.7	2584.9	983.1
III – low	4172.7	2559.7	1238.1	800.7

Table S.4.2. The total expenses incurred by the society in the winter season on 2011–2014, in mln. EUR

Functional purpose of the road	BASIC		MINIMAL		OPTIMAL	
	Maintenance costs, mln. Eur	Society losses, mln. Eur	Maintenance costs, mln. Eur	Society losses, mln. Eur	Maintenance costs, mln. Eur	Society losses, mln. Eur
European	17.07	804.57	5.96	870.07	19.88	779.43
Euroregional	11.52	351.41	5.49	371.83	11.52	351.41
National	15.70	517.97	7.49	546.02	17.97	514.58
Regional	35.07	835.59	16.80	876.88	33.87	838.29
County	31.85	607.43	25.43	624.24	28.76	619.05
Local	22.19	211.73	22.19	211.73	22.22	211.69
Access	5.73	45.72	5.73	45.72	5.74	45.70
Total:	139.13	3374.41	89.09	3546.48	139.96	3360.15

As a consequence of the comparison of the alternative scenarios of WRM with the actually applied ones during the 2011–2014 winter seasons the following results were received (Table S.4.2 and Fig. S.4.2):

- according to the minimal WRM scenario more than 160 representative road accidents would take place, while the total societal losses would reach 122.03 mln. Eur compared with the basic scenario;
- according to the optimal WRM scenario 13 representative road accidents less would take place, while the total societal losses would be reduced by 13.43 mln. Eur compared with the basic scenario.

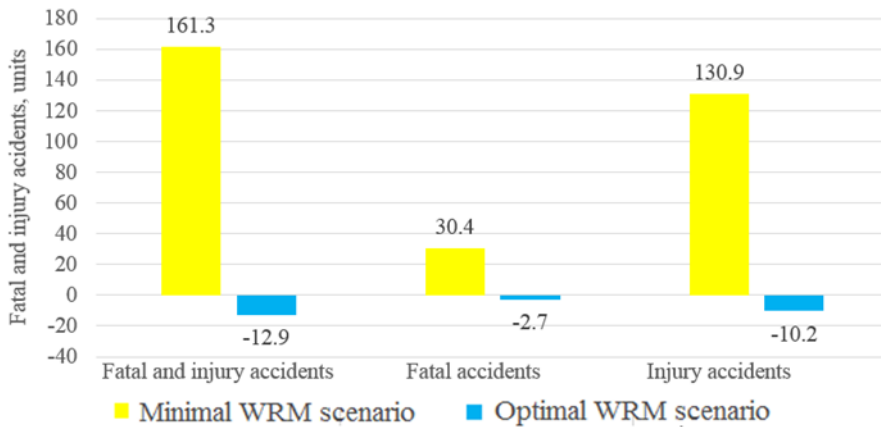


Fig. S.4.2. The expected road accident amount identified by the model (the winter road maintenance level scenarios applied in 2011–2014 winter seasons)

Cost-benefit analysis results showed that the road maintenance costs in the winter season of 2011–2014 make up only approximately 4% of the total societal expenses compared with the costs incurred by the society during road accidents and travel time expenses (which constitute 9% and 87% respectively) (Fig. S.4.3).

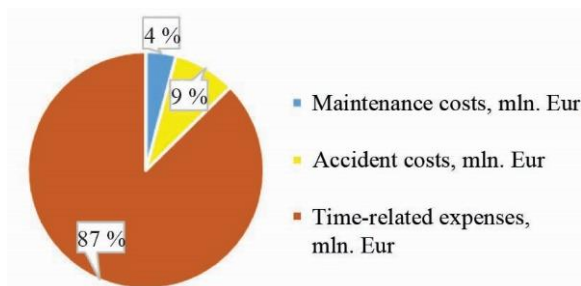


Fig. S.4.3. The total losses incurred by the society in 2011–2014 winter seasons

The obtained modelling results prove that the offered assessment model of winter road maintenance levels makes it possible to determine the economically feasible road maintenance strategy for Lithuania's national significance roads.

General conclusions

1. The analysis of the experience of nine developed countries in the world in the area of winter road maintenance has shown that most of them apply at least three winter road maintenance levels (I – high level, II – average level, III – low level). Having performed the analysis of the winter road maintenance practice it was determined that selection of economically feasible winter road maintenance levels would require the assessment of the functional purpose of the roads. The principle of the minimal expenses for the society is the main criterion in identifying the optimal levels of winter road maintenance.

2. Lithuanian national road maintenance in the winter time are currently selected without taking into consideration all the factors that determine the need of the society. Winter road maintenance level application while taking into account only the road category and traffic intensity does not ensure the indicators of the most advanced world countries and road functional purpose.

3. The analysis of the experience of Lithuania and foreign countries lead to suggesting a research methodology of efficiency of chemical slipperiness reducing materials which would allow to make objective assessment of the chemical materials alternative to traditional chloride salts under meteorological and traffic conditions in Lithuania. There were performed field and laboratory-based research of the materials efficiency based on suggested methodology. The research results showed that in case the road environment air temperature is:

- up to -6°C the most effective material is the traditional sodium chloride;
- in case it is lower than -9°C all the tested materials are insignificantly effective.

The assessment of the analysed chemical materials for winter road maintenance tested in different aspects and the consideration of the effect of these materials on the environment as well as the consideration of their price lead to a conclusion that the most suitable choice for Lithuanian conditions are the sodium and calcium chloride salts.

4. On European and Euroregional functional purpose roads where international transit traffic should be ensured it is appropriate to apply the same winter maintenance level in the entire transport corridor. The analysis of the accident rate of 2011–2014 winter season has shown that on European functional purpose roads where different winter maintenance levels are applied on individual road sections the road accident (RA) risk is higher (32.6 RA/bln. veh. km) than on Euroregional functional purpose roads (28.3 RA/bln. veh. km) where the constant average winter road maintenance level is applied.

5. The calculation of the total public expenses during the winter seasons of 2011–2014 determined that the road maintenance costs make up only up to 4% of the total public expenses, while the expenses related to the road accident losses and travel time costs respectively reach 9% and 87% of the total calculated public costs. The most economically rational way to apply the winter road maintenance levels which would minimize these total public costs. Based on the obtained modelling results the maintenance levels applied according to the optimal scenario during the 2011–2014 period up to 13 representative road accidents would be avoided and the total public expenses would be reduced by more than 13 mln. Eur. In case of implementation minimal winter road maintenance scenario more than 160 representative road accidents would take place, and the total societal losses would be 122 mln. Eur bigger compared with the basic scenario.

6. The suggested model of assessment of winter road maintenance levels could be an effective tool for the application of the optimal maintenance levels which would economically substantiate the winter road maintenance strategy that best corresponds with the needs of the society.

Recommendations

1. The assessment of the chemical materials for winter road maintenance tested in different aspects and the additional evaluation of the effect of these materials on the environment as well as the consideration of their price lead to a conclusion that the most suitable choice for the highest maintenance level on roads are the sodium and calcium chloride salts. It is recommended that prior to the decision on the application of the materials described in this dissertation and other alternative materials it is necessary to complete a thorough analysis of the requirement of their supply, transportation, storage and use as well as other specific features, whereas some of them are extremely sensitive to the humidity of the environment and are transported only in sealed vacuum bags, etc. Moreover, while taking into account their considerably high price which is dozens of times higher in comparison with the traditional chloride salts it is appropriate to perform the cost-benefit analysis. From the perspective of foreign countries practices the scope of use of these materials is very insignificant.

2. In order to get an absolutely exact result economically-wise while identifying the factors influencing the societal needs, it is important to know all the factors having impact on the modelled size. However, while performing the environmental and vehicle operational costs' estimations a problem arose of the lack of reliable statistical data on these factors. Moreover, in Lithuania the assessment of the mentioned factors would currently require immense material and physical resources, thus, they are not being assessed in this dissertation. In the future it would be appropriate to assess these factors, this process requires systematic accumulation and processing of the data related to environmental and vehicle operational cost estimates. This is important because of the presence of clear tendencies showing that in the future such areas as environmental protection, climate change and energy saving will take priority positions and their significance for the economy and the entire society will only increase.

3. The developed model can be successfully applied and implemented by certain road maintenance institutions for purposes of quality assessment and to validate the necessary funds for winter road maintenance.

Priedai*

A priedas. Eksperimentinių tyrimų laboratorijoje rezultatai

B priedas. Eksperimentinių tyrimų bandomuosiuose automobilių kelių ruožuose rezultatai

C priedas. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių skirstymas pagal funkcinę paskirtį

D priedas. Bendraautorijų sutikimai teikti publikacijose skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

E priedas Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

* Priedai pateikti pridėtoje elektroninėje laikmenoje

Tomas RATKEVIČIUS

VALSTYBINĖS REIKŠMĖS AUTOMOBILIŲ
KELIŲ PRIEŽIŪROS ŽIEMĄ OPTIMIZAVIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
statybos inžinerija (02T)

OPTIMIZATION OF ROAD OF NATIONAL
SIGNIFICANCE MAINTENANCE IN WINTER

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (02T)

2016 12 16. 13,5 sp. I. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „BMK leidykla“
J. Jasinskio g. 16, 01112 Vilnius